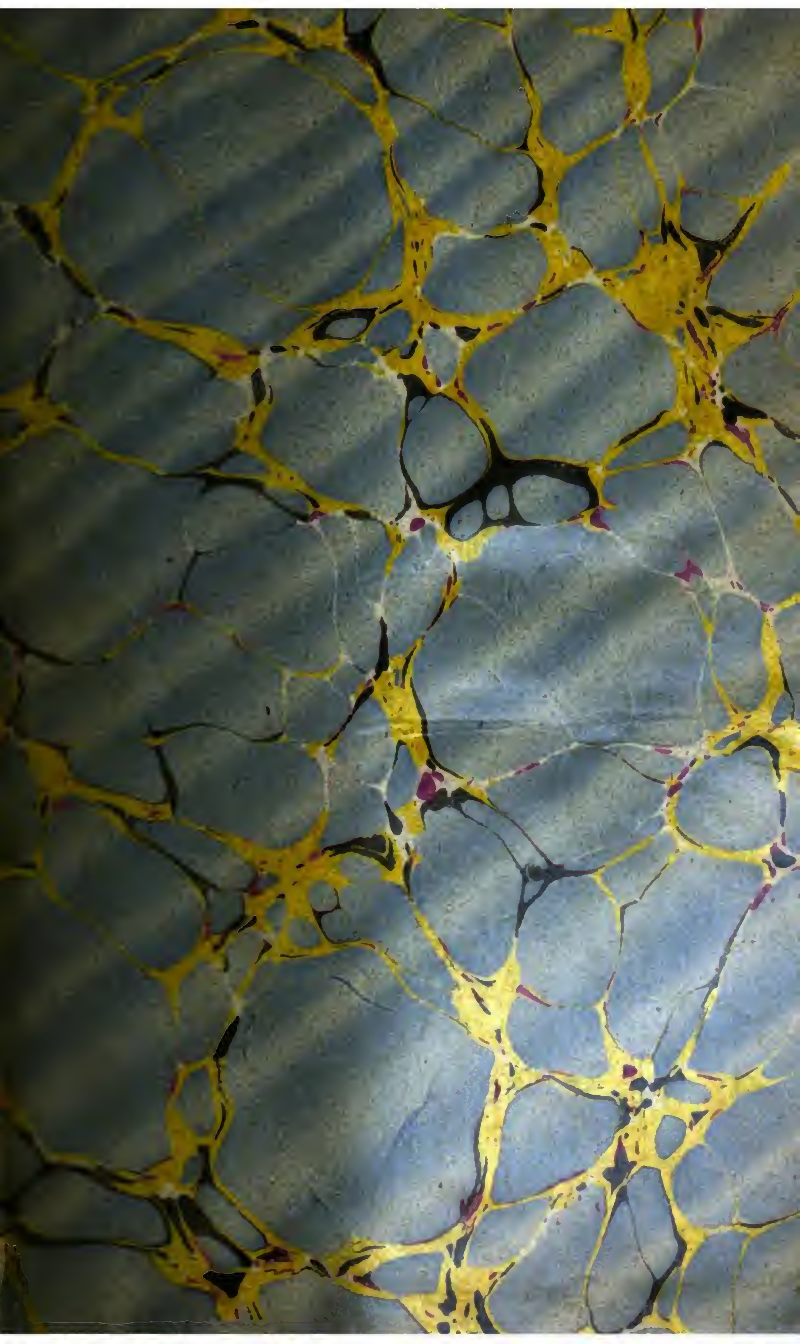
ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES: MÉMOIRES ET DOCUMENTS...




1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
CIRCUMSPICE
ENGINEERING
LIBRARY



ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

5e SÉRIE.

TOME XII.

1876

2e SEMESTRE.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR ARNOUS DE RIVIÈRE ET Ce,
Rue Racine, 26, près de l'Odéon

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS.

—

5e SÉRIE.

TOME XII.

—

1876

2e SEMESTRE.

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

Quai des Augustins, n° 49.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

N° 31

MÉMOIRE

SUR

L'INTENSITÉ ET LA PORTÉE DES PHARES

Par M. E. ALLARD, ingénieur en chef des ponts et chaussées (*)

PRÉAMBULE.

L'éclairage des phares a subi dans ces derniers temps quelques modifications importantes. D'une part, l'huile de colza a été remplacée par l'huile minérale qui donne plus de lumière pour une dépense moindre; de l'autre, on a, dans chaque ordre de phares, augmenté le diamètre des becs de lampe, en y ajoutant une mèche. L'intensité et la

(*) Trois extraits de ce mémoire, relatifs à la transparence des flammes et de l'atmosphère et à la visibilité des feux scintillants, viennent d'être présentés à l'Académie des sciences, qui, dans sa séance du 5 juin 1876, en a ordonné l'insertion au *Recueil des savants étrangers*. E. M.

portée lumineuses des différents appareils se trouvent donc augmentées dans une certaine proportion, et les renseignements donnés jusqu'ici à ce sujet doivent être rectifiés ou complétés. C'est ce que nous nous proposons de faire dans ce mémoire.

Nous nous occuperons d'abord des résultats que donne l'huile minérale dans les différentes lampes, notamment en ce qui concerne la consommation et l'intensité lumineuse, et nous chercherons à expliquer ces résultats en étudiant la transparence des flammes.

Nous passerons ensuite aux appareils optiques; après avoir déterminé par l'expérience et le calcul l'intensité lumineuse que produit chacun de ces appareils, éclairé par des flammes de différents diamètres, nous en conclurons une formule donnant, dans chaque cas, le coefficient de l'appareil, c'est-à-dire le rapport dans lequel il augmente l'intensité de la flamme placée à son foyer. Nous calculerons ensuite les intensités des appareils de toute espèce employés dans les phares et nous donnerons à ce sujet une étude théorique de la vision des feux scintillants.

La portée des phares dépendant essentiellement de l'état de transparence de l'atmosphère, nous ferons connaître les observations que l'on enregistre dans les principaux établissements du littoral sur la visibilité des feux voisins, et les conséquences qu'on peut en déduire relativement à la transparence nocturne de l'atmosphère. Nous étudierons les modifications que cette transparence subit dans le cours de l'année, et les variations qu'elle présente quand on passe d'une région à une autre. Nous dirons ensuite comment on calcule les portées des phares pour divers états de l'atmosphère et notamment pour l'état de transparence moyenne que l'on adopte dans le calcul des renseignements fournis aux marins. Il faut remarquer qu'il ne s'agit ici que de la portée optique qui correspond à l'intensité lumineuse du phare. Nous ne nous occuperons pas

de la portée géographique qui dépend de la hauteur à laquelle le feu se trouve au-dessus de la mer, et qui se calcule par une formule connue.

I. — Intensité des flammes d'huile minérale.

Renseignements préliminaires. — L'application des huiles minérales à l'éclairage des phares a longtemps été retardée à cause des craintes qu'inspirait, pour la sécurité du service, l'inflammabilité des vapeurs qu'elles émettent. Dans une note que les *Annales* ont publiée en février 1873, M. l'inspecteur général Reynaud, directeur du service des phares, a fait connaître comment on a été conduit à adopter ce nouveau système d'éclairage et a indiqué les motifs qui ont fait choisir l'huile connue sous le nom de paraffine d'Écosse. Cette huile, dont le pouvoir éclairant est un peu supérieur à celui des huiles de schiste du bassin de l'Allier, présente en outre le précieux avantage de n'émettre de vapeurs inflammables que lorsque sa température est portée à 60 ou 70 degrés, tandis que pour les huiles de schiste telles qu'on les fabrique habituellement, cette limite s'abaisse en général à 30 ou 40 degrés, quelquefois même à 25 degrés. Depuis l'introduction de la paraffine d'Écosse dans les phares, quelques fabricants français sont parvenus, en dirigeant convenablement la distillation du pétrole, à obtenir des produits qui remplissent les mêmes conditions et qui paraissent même à quelques égards préférables, tout en coûtant moins cher; aujourd'hui tous les phares du littoral, à l'exception des feux flottants, brûlent de l'huile minérale provenant de fabriques françaises.

L'adoption de ce nouveau système d'éclairage devait entraîner une notable diminution de dépense; on jugea convenable d'employer une partie de l'économie à augmenter, dans l'intérêt de la navigation, l'intensité lumineuse des appareils. Les becs de lampe, dans les différents ordres

de phares, furent donc agrandis de manière à recevoir chacun une mèche de plus, et l'on profita de la nécessité où l'on se trouvait de les reconstruire tous, pour simplifier un peu cette partie du service en y introduisant de l'uniformité. Les becs de lampe successivement établis par Fresnel ou ses successeurs, comprenaient des mèches dont le diamètre variait d'un bec à l'autre pour le même numéro de mèche. Ainsi, par exemple, les trois mèches du deuxième ordre n'étaient pas les mêmes que les trois mèches intérieures du premier ordre. On avait de plus trois espèces de becs simples et trois espèces de becs doubles. Le nombre des types de mèches était donc considérable sans qu'il y eût à cela d'utilité, et il en résultait une certaine complication dans le service. Les nouveaux becs présentent à ce sujet des dispositions plus simples, ainsi que nous allons l'expliquer en donnant quelques détails sur l'état actuel des différents appareils d'éclairage.

Les phares sont aujourd'hui partagés en cinq ordres, suivant que leurs appareils lenticulaires ont un diamètre égal à 1^m^,84, 1^m^,40, 1^m^,00, 0^m^,50 ou inférieur à 0^m^,50. Les lampes qui correspondent habituellement à ces cinq ordres d'appareils ont des becs dont le nombre de mèches concentriques est

5, 4, 3, 2, 1,

et dont le diamètre extérieur est de

11, 9, 7, 5, 3 centimètres.

Les mèches de même rang, à partir du centre, ont dans tous les becs le même diamètre. Chaque mèche est contenue entre deux cylindres de cuivre mince espacés de 5 millimètres, et elle est séparée de la mèche voisine par un vide annulaire de 5 millimètres de largeur destiné à l'ascension de l'air froid; l'épaisseur du métal est prise du côté de la mèche. Le diamètre moyen des mèches est ainsi de

105, 85, 65, 45, 25 millimètres,

et la somme des longueurs développées des mèches dans chaque bec est de

1021, 691, 424, 220, 78 millimètres.

Les becs à une mèche sont ordinairement placés sur des lampes à réservoir inférieur qui ne contiennent aucun mécanisme. L'huile dans laquelle plonge la mèche monte jusqu'au sommet du bec par l'action de la capillarité. On emploie aussi, notamment pour les réflecteurs, des lampes ordinaires à niveau constant. Ce dernier système est celui qu'on adopte généralement pour les becs à deux mèches; cependant, lorsqu'il s'agit d'appareils éclairant tout l'horizon, le réservoir latéral produirait une occultation, et l'on a recours aux lampes à réservoir inférieur en augmentant convenablement leur capacité.

Les becs à trois, quatre et cinq mèches, destinés aux phares des trois premiers ordres, sont employés sur les anciennes lampes à mouvement d'horlogerie ou à poids intérieur. Ces becs sont accompagnés d'un appendice latéral par lequel passe l'huile avant d'arriver aux mèches, et qui a pour but de maintenir l'huile à un niveau constant, inférieur de 4 à 5 centimètres à celui du sommet du bec.

Outre les cinq becs qui viennent d'être indiqués, nous en avons fait construire un plus grand, qui a 6 mèches et dont le diamètre extérieur est de $0^{m},13$. Quoiqu'il n'ait pas encore reçu d'application, nous donnerons les résultats qui le concernent, afin de compléter la série.

Les *fig.* 1 à 7 de la Pl. 14 font connaître les détails de ces différents becs et des lampes sur lesquelles ils sont employés; nous en donnons une description plus détaillée dans une note qui se trouve à la fin de ce travail.

Nous allons maintenant faire connaître les résultats qu'ont donnés ces nouveaux becs au point de vue de la consommation d'huile et de l'intensité lumineuse. Les renseignements qui vont suivre résultent d'un grand nombre

d'expériences faites dans des circonstances diverses ; mais il y a bien des causes qui peuvent faire varier les résultats, surtout lorsqu'il s'agit de l'intensité lumineuse. Si l'on prend pour chaque espèce de flamme la moyenne des expériences qui la concernent spécialement, on obtient des nombres qui, comparés entre eux, présentent de petites anomalies inexplicables et paraissent s'écarter, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, de la loi de continuité. Il est bien préférable de faire concourir toutes les expériences sur les différentes flammes à déterminer les coefficients d'une formule empirique ou les éléments d'une courbe continue convenablement choisie. On est plus sûr ainsi d'obtenir des résultats qui ne s'écartent pas trop de la vérité. Les chiffres que nous donnerons successivement ont été soumis à ce genre de correction.

Consommation d'huile. — Lorsqu'on fait brûler de l'huile minérale dans des lampes dont les becs ont de une à six mèches, on reconnaît que la quantité d'huile consommée par chacune d'elles dans une heure peut être fixée à :

55, 175, 370, 645, 1000, 1450 grammes.

Si l'on construit des points ayant ces chiffres de consommation c pour ordonnées et les diamètres d des becs pour abscisses, on constate qu'ils forment une courbe régulière (*fig.* 1), Pl. 15, dont l'équation est :

$$c = 4.9d^{2,22}.$$

Les chiffres donnés par cette formule sont en effet :

56,1, 174,5, 368,4, 643,6, 1004,8, 1456,0,

et l'on voit qu'ils diffèrent bien peu des consommations indiquées ci-dessus en nombres ronds.

Si toutes les circonstances étaient égales, il serait naturel de supposer que la consommation doit être propor-

tionnelle à la longueur développée des mèches qui entrent dans chaque bec. Mais il n'en est pas tout à fait ainsi, la longueur développée des mèches étant de :

78, 220, 424, 691, 1021, 1413 millimètres,

on reconnaît que la consommation par centimètre de longueur de mèche est :

7,05, 7,95, 8,72, 9,33, 9,80, 10,25.

Ces nombres vont en croissant suivant une loi assez régulière comme on le voit sur la *fig.* 2.

L'accroissement de consommation horaire que nous venons de constater tient sans doute à ce que la température de la flamme va en augmentant à mesure que le nombre des mèches est plus grand.

Hauteur et volume des flammes. — Les flammes produites par les différentes lampes ont des hauteurs qui augmentent avec le diamètre du bec. Cette hauteur est assez difficile à mesurer parce qu'elle varie beaucoup et que d'ailleurs la flamme présente des pointes dont il ne faut pas complétement tenir compte. En remplaçant la forme irrégulière de la flamme par une forme elliptique qui s'en rapproche le plus possible et qui laisse en dehors les pointes accidentelles, on reconnaît que la hauteur de ces différentes flammes elliptiques croît à peu près proportionnellement à la racine carrée du diamètre et peut être représentée par la formule :

$$h = 2,73\sqrt{d},$$

h et d étant exprimés en centimètres (*fig.* 3); cette formule donne pour les flammes de une à six mèches les hauteurs suivantes qui se rapprochent beaucoup de la réalité :

$4^c,73$, $6^c,10$, $7^c,22$, $8^c,19$, $9^c,05$, $9^c,84$.

La surface apparente de chaque flamme est alors $\frac{1}{4}\pi hd$ ou $2,144\ d^{3/2}$, ce qui donne :

$S = 11,14,\ 23,97,\ 39,71,\ 57,89,\ 78,22,\ 100,49$ centim. car.

Le volume des mêmes flammes a pour expression $\frac{1}{6}\pi d^2 h$ $= 1,4294\ d^{5/2}$, ce qui donne :

$V = 22,28,\ 79,90,\ 185,31,\ 347,34,\ 573,61,\ 870,91$ cent. cub.

Nous pouvons comparer ces volumes de flamme aux quantités d'huile qui les produisent. Nous trouvons que chaque décagramme d'huile consommée par heure entretient un volume de flamme qui, dans les différentes lampes, est de :

4,05, 4,57, 5,01, 5,39, 5,74, 6,01.

La formule qui lie ces nombres résulte des précédentes et est $u = 0,2917\ d^{0,28}$.

Intensités lumineuses. — En prenant pour unité la lumière d'une lampe Carcel qui brûle 40 grammes d'huile de colza par heure, les intensités de nos différentes flammes d'huile minérale sont exprimées par les nombres suivants :

$I = 2,2,\ 6,9,\ 14,3,\ 24,\ 36,\ 50.$

Ces chiffres sont représentés par une des courbes de la *fig.* 18. Ils peuvent être reliés entre eux par la formule approximative $I = 0,22\ d^{2,1}$.

Si nous comparons ces intensités soit aux surfaces apparentes des flammes, soit à leurs volumes, nous trouvons que l'intensité par centimètre carré de surface apparente est :

$\frac{I}{S} = 0,197,\ 0,288,\ 0,360,\ 0,415,\ 0,460,\ 0,498,$

et que l'intensité par centimètre cube de volume est :

$\frac{I}{V} = 0,0987,\ 0,0864,\ 0,0772,\ 0,0691,\ 0,0628,\ 0,0574.$

Ces chiffres sont représentés par les courbes des *fig.* 5 et 6, Pl. 15.

L'intensité augmente donc beaucoup plus rapidement que la surface apparente, mais elle ne croît pas proportionnellement au volume. Le premier résultat est dû en partie à ce que la température augmente avec le diamètre du bec, mais il tient aussi à ce que la flamme étant transparente, l'intensité totale ne provient pas seulement des parties superficielles. Le second résultat prouve que la transparence de la flamme n'est pas complète, puisque, malgré l'accroissement de la température et par suite de l'intensité lumineuse spécifique, l'intensité moyenne diminue lorsque le volume augmente.

Pour nous rendre compte de la loi que suivent les intensités des flammes, nous devons rechercher quel est leur coefficient de transparence, et étudier comment cette transparence imparfaite influe sur l'effet lumineux total.

Mais les flammes de lampe ne sont pas homogènes; les parties qui correspondent aux mèches sont plus brillantes que celles qui sont au-dessus des courants d'air; cette différence est surtout sensible à la base et s'affaiblit à mesure qu'on s'élève; en outre le haut de la flamme est moins chaud et moins brillant que la partie moyenne. Il serait impossible de tenir compte de ces variations dans une étude théorique de la question. On est obligé de supposer une flamme fictive, complétement homogène, et de lui attribuer une intensité spécifique et une transparence égales aux valeurs moyennes de l'intensité et de la transparence de la flamme réelle. Les conséquences auxquelles on parviendra en faisant cette hypothèse ne s'appliqueront à la réalité que dans une certaine mesure; elles permettront néanmoins de se rendre compte des intensités des différentes flammes.

Étude théorique de la transparence des flammes. — Nous supposons un volume V de flamme homogène, dont l'inten-

sité lumineuse spécifique par unité de volume est i, et dont le cœfficient de transparence est un nombre a plus petit que 1, lequel représente la proportion de lumière que laisse passer l'unité de longueur de flamme traversée. L'intensité lumineuse de ce volume de flamme serait Vi, si la transparence était absolue, c'est-à-dire si l'on avait $a = 1$; il s'agit de déterminer cette intensité pour une valeur quelconque de a.

Considérons une file de molécules lumineuses, ou plutôt un petit cylindre de flamme ayant une section ω et une longueur l; un volume élémentaire ωdx produira une intensité lumineuse $\omega i dx$, i étant l'intensité spécifique par unité de volume, et si x est la distance qui sépare ce volume de l'origine du cylindre tournée vers l'observateur, cette intensité lumineuse, en traversant une épaisseur x de flamme, deviendra à la sortie du cylindre $\omega i a^x dx$, a étant le coefficient de transparence de la flamme. L'intensité lumineuse que produira le cylindre dans le sens de son axe sera donc :

$$I = \int_0^l \omega i a^x dx = \omega i \frac{1 - a^l}{-\log a},$$

le logarithme étant pris dans le système népérien. Lorsque l augmente, cette intensité augmente d'abord rapidement et ensuite très-lentement; elle se rapproche indéfiniment d'une certaine limite qu'elle ne peut atteindre quelle que soit la longueur du prisme lumineux. Cette limite, qui correspond à $l = \infty$, est :

$$I = \frac{\omega i}{-\log a}.$$

Ainsi, par exemple, si l'on suppose $a = 0{,}8$ ou $a = 0{,}6$ par centimètre, on trouve pour $\frac{I}{\omega i}$ les valeurs suivantes :

	$l = 1$	2	4	6	10	20.......	∞
pour $a = 0{,}8$ $\frac{I}{\omega i} =$	0,89	1,61	2,65	3,31	4,00	4,43.......	4,48
pour $a = 0{,}6$ $\frac{I}{\omega i} =$	0,78	1,25	1,70	1,87	1,95	1,96.......	1,96

Ces résultats sont représentés sur la *fig.* 12, Pl. 15. Voici ce qu'ils signifient : si l'on suppose $a = 0,8$, un cylindre horizontal de flamme ayant, par exemple, 10 centimètres de longueur, ne donne pas plus de lumière dans le sens de son axe que n'en donnerait une longueur de 4 centimètres dans l'hypothèse d'une transparence absolue, et en augmentant indéfiniment la longueur de ce cylindre, on n'aura jamais plus d'intensité que n'en donnerait, dans la même hypothèse, une longueur de 4 centimètres 48 centièmes. Cette limite serait $2^c,80$ pour $a = 0,7$, $1^c,96$ pour $a = 0,6$, $1^c,44$ pour $a = 0,5$; elle s'élèverait à $9^c,49$ pour $a = 0,9$. On voit par ces chiffres qu'il suffit d'une assez faible longueur de flamme pour donner une intensité lumineuse différant très-peu de l'intensité-limite. Si l'on veut que cette différence soit inférieure à un dixième, on trouve que l'épaisseur suffisante est de 10 centimètres 32 centièmes pour $a = 0,8$, de $6^c,45$ pour $a = 0,7$ et de $4^c,5$ pour $a = 0,6$

Considérons maintenant une flamme ayant la forme d'un demi-ellipsoïde de révolution dont l'axe est vertical et est pris pour axe des z. Un prisme horizontal parallèle à l'axe des x, ayant une section $dy.dz$ et une longueur $2x$, donnera, dans le sens de l'axe des x, une intensité qui, d'après la formule précédente, sera :

$$dy.dz.i\,\frac{a^{2x} - 1}{\log a},$$

et l'on aura pour l'intensité totale dans la direction de l'axe des x, ou dans une direction horizontale quelconque :

$$\mathrm{I} = i\int_{z=0}^{z=h} dz \int_{y=0}^{y=\rho} dy\;\frac{a^{2x} - 1}{\log a},$$

en tenant compte des deux relations :

$$y^2 + x^2 = \rho^2,\quad \frac{z^2}{h^2} + \frac{\rho^2}{r^2} = 1,$$

dans lesquelles x, y, z, sont les coordonnées d'un point de la surface de l'ellipsoïde, h est sa hauteur, r son rayon de base, et ρ le rayon du cercle horizontal à la hauteur z.

Si nous divisons cette intensité effective I, par l'intensité absolue Vi, nous aurons le coefficient de réduction $K = \frac{I}{Vi}$, et c'est ce coefficient K qu'il s'agit de calculer. Or, il est facile de voir qu'il est le même pour l'ellipsoïde que pour une sphère de rayon r. On tire en effet de la seconde relation ci-dessus

$$z = \frac{h}{r}\sqrt{r^2 - \rho^2} = \frac{h}{r} z', \text{ en posant } z' = \sqrt{r^2 - \rho^2},$$

d'où

$$dz = \frac{h}{r} dz';$$

il vient alors

$$K = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi r^2 h}\int_{z'=0}^{z'=r} \frac{h}{r} dz' \int_{y=0}^{y=\rho} dy \frac{a^{2x}-1}{\log a} = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi r^3}\int_{z'=0}^{z'=r} dz' \int_{y=0}^{y=\rho} dy \frac{a^{2x}-1}{\log a}.$$

Cette dernière expression est évidemment le coefficient de réduction relatif à une sphère. Or on peut trouver ce coefficient de la sphère par un autre procédé d'intégration. Partageons en effet le volume de la sphère par une série de surfaces cylindriques parallèles, ayant pour axe l'axe des x. Le volume compris entre deux de ces surfaces sera $2x \times 2\pi y dy$, et son intensité lumineuse dans le sens des x sera

$$i \cdot 2\pi y dy \cdot \frac{a^{2x}-1}{\log a},$$

en faisant varier y de o à r et divisant par le volume de la sphère, on aura pour le coefficient

$$K = \frac{1}{\frac{4}{3}\pi r^3} \cdot \frac{2\pi}{\log a}\int_{y=0}^{y=r} y dy (a^{2x} - 1);$$

or, en vertu de la relation $x^2 + y^2 = r^2$, on a $ydy = -xdx$, l'intégrale devient :

$$\int_{x=r}^{x=0} xdx(1 - a^{2x}) = \left[\frac{x^2}{2} - \frac{xa^{2x}}{2\log a} + \frac{a^{2x}}{4\log^2 a}\right]_r^0$$

$$= -\frac{r^2}{2} + \frac{ra^{2r}}{2\log a} - \frac{a^{2r}}{4\log^2 a} + \frac{1}{4\log^2 a},$$

et en remplaçant $2r$ par d, on trouve définitivement :

$$K = \frac{3\left(1 - a^d + d.a^d\log a - \frac{1}{2}d^2\log^2 a\right)}{d^3\log^3 a}.$$

Ainsi lorsqu'on connaîtra le coefficient de transparence a d'une flamme dont le diamètre de base est d, on calculera le coefficient de réduction K, et l'intensité effective de cette flamme sera

$$I = K.Vi.$$

On vérifie facilement par les procédés ordinaires que le coefficient K devient égal à 1 lorsque $d = 0$ ou lorsque $a = 1$.

Coefficient de transparence. — Pour appliquer ces formules aux flammes de lampe, il faut déterminer la valeur du coefficient de transparence a. Nous allons indiquer les expériences qui ont été faites dans ce but au Dépôt des phares.

Nous nous sommes d'abord servi de lampes à huile minérale et à mèche plate de différentes dimensions. Nous en avons mesuré l'intensité lumineuse de face et ensuite sur la tranche. En considérant le volume de la flamme comme formant une lame rectangulaire d'épaisseur e et de largeur l, le rapport de ces deux intensités doit être, d'après une formule précédente :

$$m = \frac{l(1 - a^e)}{e(1 - a^l)}.$$

On peut donc calculer *a* lorsqu'on connaît *l*, *e* et *m*. Voici les résultats obtenus avec quatre lampes :

Largeur de la flamme.. .	$l =$	$5^{c},4$	$3^{c},8$	$3^{c},0$	$2^{c},3$
Épaisseur de la flamme.	$e =$	1 ,0	0 ,8	0 ,7	0 ,6
Rapport des intensités.	$m =$	$\frac{3,3}{2,0} = 1,65$;	$\frac{1,5}{0,6} = 2,50$;	$\frac{1,6}{1,1} = 1,45$;	$\frac{0,8}{0,6} = 1,33$
Coefficient de transparence calculé au moyen de la formule. . . .	$a =$	0 ,76	0 ,60	0 ,70	0 ,69

La moyenne de ces quatre valeurs est $a = 0,69$; si l'on retranche la deuxième expérience, qui a été faite avec une lampe fonctionnant mal, la moyenne des trois autres est $a = 0,72$.

D'autres expériences ont été faites avec des réflecteurs catadioptriques. On sait qu'en plaçant une flamme de lampe au foyer d'un pareil réflecteur, il se produit une image qui se superpose exactement à la flamme réelle et en augmente l'intensité. Si l'on écarte la flamme du foyer dans un sens perpendiculaire à l'axe du réflecteur, on voit l'image se séparer de la flamme et s'écarter du foyer en sens contraire. Il arrive un moment où les deux flammes sont tout à fait distinctes l'une de l'autre, de sorte qu'on peut mesurer l'intensité de chacune d'elles. On trouve que l'intensité de l'image est à peu près les 0,80 de celle de la flamme réelle. La différence est due à la perte que la lumière éprouve en traversant les anneaux catadioptriques du réflecteur; elle est à peu près la même pour les réflecteurs des trois premiers ordres avec lesquels ont été faites les expériences. Si l'on réunit ensuite les deux flammes en ramenant la flamme réelle au foyer, l'intensité que l'on obtient alors n'est pas à beaucoup près la somme des

deux intensités précédentes. En prenant pour unité l'intensité de la lampe sans le réflecteur, cette somme serait 1,80, tandis qu'on trouve pour les deux flammes superposées :

1,28 lorsqu'il s'agit d'un bec à 5 mèches,
1,33 pour un bec à 4 mèches,
1,38 pour un bec à 3 mèches,

de sorte que l'intensité de l'image, qui était 0,80 lorsqu'elle était séparée, se réduit à 0,28 ou 0,33 ou 0,38 en traversant la flamme réelle. L'épaisseur moyenne traversée dans chaque cas peut se calculer à peu près en divisant le volume de la flamme par la section méridienne, ce qui donne $\frac{2}{3}d$ ou 7,3, 6,0 et 4,7 pour les flammes des trois premiers ordres. On a ainsi les trois équations

$$a^{7,3} = \frac{28}{80} = 0,350, \quad \text{d'où } a = 0,866,$$

$$a^{6,0} = \frac{33}{80} = 0,412, \quad \text{d'où } a = 0,863,$$

$$a^{4,7} = \frac{38}{80} = 0,475, \quad \text{d'où } a = 0,854.$$

C'est donc une valeur moyenne $a = 0,86$ que donne cette seconde série d'expériences.

Nous avons enfin opéré directement en mesurant l'intensité d'une lumière avant et après son passage à travers une autre flamme. Pour que l'expérience soit possible il faut que la lumière soit assez intense pour n'être pas éteinte par la flamme qu'elle traverse; il faut de plus que son volume soit assez petit pour que tous les rayons qu'elle émet traversent la flamme sous des épaisseurs peu différentes. Nous avons employé la lumière électrique en la plaçant derrière des flammes d'huile minérale des trois premiers ordres. Nous avons trouvé, par exemple, que la lumière électrique valant 120 becs et la flamme à

5 mèches 35 becs, leur ensemble ne donnait que 50 becs environ lorsqu'on plaçait la lumière électrique derrière la flamme. L'intensité de la lumière électrique se réduisait donc à 15 becs en traversant la flamme, c'est-à-dire aux $\frac{15}{120} = 0,125$ de son intensité réelle. Nous avons de même trouvé une réduction à 0,175 pour la flamme à 4 mèches et à 0,193 pour celle à 3 mèches. Les épaisseurs de flamme traversée, eu égard à la position de la lumière électrique, étaient 9,5, 7,8 et 6,0, de sorte qu'on a les trois équations suivantes :

$$a^{9,5} = 0,125 \quad \text{d'où} \quad a = 0,803$$
$$a^{7,8} = 0,175 \quad \text{d'où} \quad a = 0,800$$
$$a^{6,0} = 0,193 \quad \text{d'où} \quad a = 0,760$$

On peut remarquer que ces nombres, ainsi que ceux des expériences précédentes, semblent indiquer un léger accroissement de transparence quand on passe de la flamme à 3 mèches à celle qui en a 5. Mais les différences ne sont pas assez sensibles pour que nous puissions y avoir égard.

Les trois méthodes que nous venons d'indiquer pour déterminer le coefficient de transparence nous donnent donc en moyenne les valeurs suivantes :

$a = 0,72$ avec les lampes à mèche plate.
$a = 0,86$ avec les réflecteurs catadioptriques.
$a = 0,80$ avec la lumière électrique traversant une flamme.

Cette dernière valeur obtenue par une méthode directe est à peu près la moyenne des deux autres, et peut être adoptée. Il n'est pas étonnant que les lampes à mèche plate, qui ont une flamme moins vive, conduisent à un coefficient de transparence plus petit, et quant au coefficient plus grand obtenu par les réflecteurs, on en trouverait peut-être l'explication en remarquant que la lumière de l'image est partiellement polarisée.

Calcul théorique de l'intensité des flammes. — Reprenons la formule $I = KVi$, dans laquelle i est l'intensité spécifique par centimètre cube, V le volume de la flamme, I son intensité effective, et K le coefficient de réduction, qui dépend à la fois de la transparence et du diamètre de la flamme. Cette formule donne

$$i = \frac{I}{V} \cdot \frac{1}{K}.$$

Nous avons indiqué plus haut les valeurs de $\frac{I}{V}$ pour les six flammes de lampe;

$$\frac{I}{V} = 0{,}0987 \quad 0{,}0864 \quad 0{,}0772 \quad 0{,}0691 \quad 0{,}0628 \quad 0{,}0574.$$

Si maintenant nous calculons pour ces six flammes les coefficients K qui correspondent à différentes valeurs de a, voisines de celle que nous avons déterminée, nous en conclurons les valeurs qu'il faut dans chaque cas attribuer à l'intensité spécifique i, et nous pourrons, en examinant la loi que suivent ces intensités, juger si la valeur déjà trouvée pour a est bien convenable.

Les valeurs de K déduites de la formule

$$K = \frac{3\left(1 - a^d + d \cdot a^d \cdot \log a - \frac{1}{2} d^2 \log^2 a\right)}{d^3 \log^3 a} \text{ sont :}$$

Pour $a =$	K =					
0,90	0,893	0,827	0,770	0,719	0,673	0,631
0,85	0,839	0,752	0,677	0,614	0,559	0,512
0,80	0,792	0,685	0,599	0,529	0,471	0,423
0,75	0,739	0,618	0,527	0,453	0,396	0,350
0,70	0,692	0,559	0,463	0,392	0,337	0,295

En divisant la valeur $\frac{I}{V}$ par chacune de ces valeurs de K, on obtient les valeurs suivantes de i

Pour $a =$	$i =$					
0,90	0,111	0,104	0,100	0,096	0,093	0,091
0,85	0,118	0,115	0,114	0,113	0,112	0,112
0,80	0,125	0,126	0,129	0,131	0,133	0,136
0,75	0,134	0,140	0,146	0,153	0,159	0,164
0,70	0,148	0,155	0,167	0,176	0,186	0,195

Ces différentes valeurs de K et de i pour cinq hypothèses de a sont représentées par des courbes, *fig.* 7 et 8, Pl. 15.

On reconnaît d'abord que les hypothèses $a = 0{,}90$ et $a = 0{,}85$ sont inadmissibles, parce qu'elles entraîneraient comme conséquence une diminution de l'intensité spécifique des flammes à mesure que leur diamètre augmente. La valeur $a = 0{,}80$ suppose au contraire un accroissement de cette intensité de 0,125 à 0,136 ou d'environ 9 p. 100 en passant de la plus petite flamme à la plus grande. Cet accroissement deviendrait 22 et 36 p. 100 pour les valeurs plus petites $a = 0{,}75$ et $a = 0{,}70$; il serait nul pour une valeur plus grande que 0,80, soit environ pour $a = 0{,}83$. On peut donc expliquer les intensités des lampes en faisant les hypothèses suivantes :

$a = 0{,}83$ et $i = 0{,}119$ pour toutes les flammes,
$a = 0{,}80$ et i croissant de 0,125 à 0,136 ou de 9 p. 100,
$a = 0{,}75$ et i croissant de 0,134 à 0,164 ou de 22 p. 100,
$a = 0{,}70$ et i croissant de 0,143 à 0,186 ou de 36 p. 100.

La première hypothèse ne paraît pas conforme à la réalité, car la température et, par suite, l'intensité spécifique doivent être un peu plus fortes pour les grandes flammes que pour les petites. D'un autre côté, les dernières valeurs conduisent à un accroissement d'intensité qui peut paraître exagéré. La valeur $a = 0{,}80$, que nous avons déjà trouvée par des expériences directes, semble donc aussi, d'après les considérations précédentes, la plus convenable pour expliquer les phénomènes.

Si nous admettons cette conclusion, nous pouvons re-

prendre la question en ordre inverse et calculer ainsi qu'il suit les intensités des flammes.

Nous prenons pour intensité spécifique moyenne de chacune des six flammes les valeurs de i, qui, dans le calcul précédent, correspondent à $a = 0{,}80$, en régularisant les variations qu'elles présentent,

$$i = 0{,}1250,\ 0{,}1268,\ 0{,}1288,\ 0{,}1310,\ 0{,}1334,\ 0{,}1360.$$

En multipliant ces intensités par les volumes V correspondants, on obtient les intensités absolues :

$$Vi = 2{,}785,\ 10{,}131,\ 23{,}868,\ 45{,}501,\ 76{,}520,\ 118{,}444.$$

Les coefficients de réduction K, calculés d'après la formule précédente pour les différents diamètres de flamme et dans l'hypothèse $a = 0{,}80$, sont :

$$K = 0{,}7922,\ 0{,}6854,\ 0{,}5992,\ 0{,}5288,\ 0{,}4709,\ 0{,}4228.$$

Les intensités absolues Vi, multipliées par ces coefficients, donnent les intensités effectives suivantes :

$$I = KVi = 2{,}206,\ 6{,}944,\ 14{,}302,\ 24{,}061,\ 36{,}033,\ 50{,}078,$$

lesquelles s'accordent à très-peu près avec celles que nous avons indiquées. Ces intensités absolues et effectives sont représentées par les courbes de la *fig.* 4, Pl. 15. La distance verticale qui sépare les deux courbes représente la perte de lumière due à ce que la transparence de la flamme n'est pas parfaite.

Si nous comparons la consommation d'huile à ces intensités absolues et effectives, nous trouvons les rapports suivants : les consommations d'huile par unité d'intensité absolue sont en grammes :

19,75, 17,27, 15,50, 14,18, 13,07, 12,24.

La consommation diminue donc rapidement lorsque le diamètre du bec augmente; il faut avec le bec à cinq mè-

ches les deux tiers environ de l'huile qu'exige le bec à une mèche pour produire la même quantité de lumière. Les consommations d'huile par unité d'intensité effective augmentent au contraire un peu avec le diamètre, car elles sont :

24,93, 25,20, 25,87, 26,81, 27,75, 28,96.

Les courbes de la *fig.* 9 représentent ces consommations relatives. L'intervalle qui les sépare indique la quantité d'huile destinée à remplacer la quantité de lumière absorbée par l'opacité de la flamme.

Nous arrivons donc à cette conclusion que, dans les flammes produites par l'huile paraffine d'Écosse, l'intensité lumineuse effective n'augmente pas tout à fait aussi rapidement que la consommation d'huile, lorsqu'on passe d'un bec à un autre bec plus grand. On voit, d'après les considérations précédentes, que ce résultat dépend de plusieurs circonstances, notamment de la loi suivant laquelle croît l'intensité spécifique des flammes, et de la valeur de leur coefficient de transparence. Cette conséquence n'est donc pas générale et pourrait être modifiée si les données étaient différentes. S'il s'agissait, par exemple, de flammes d'huile de colza ou de gaz d'éclairage, ou d'hydrogène pur, il pourrait arriver que l'intensité fût proportionnelle à la consommation ou même suivît une loi d'accroissement un peu plus rapide.

Intensité de la lumière électrique et de la lumière solaire.— Il peut être intéressant de comparer l'intensité de la lumière électrique à celles des flammes d'huile minérale, et de faire un calcul analogue pour la lumière solaire autant que cela est possible.

La lumière produite par les machines magnéto-électriques employées dans les phares peut être considérée comme occupant à peu près le volume d'une petite sphère d'un centimètre de diamètre, et comme ayant une intensité de 200 becs carcel. Sa surface apparente étant de

$0^{cq},7854$, son intensité par centimètre carré est de 255 becs; c'est 554 fois celle des lampes à 5 mèches, que nous avons trouvée être de 0,460.

La lumière solaire a été mesurée par plusieurs physiciens. Bouguer, dans son *Essai d'optique* de 1729, annonce avoir trouvé que l'éclat moyen du disque solaire à midi, dans un ciel pur, est égal à 11 664 fois la lumière d'une bougie placée à 16 pouces de distance, ce qui revient à 62 280 fois la lumière d'une bougie placée à 1 mètre. De son côté Wollaston, dans un mémoire des transactions philosophiques de 1799, évalue cette intensité à 5563 fois celle d'une chandelle placée à $0^m,3048$, ce qui donne 59 850 chandelles placées à 1 mètre. Ces deux déterminations sont assez concordantes et nous pouvons admettre, pour l'intensité du soleil, celle d'une lumière de 6000 becs de carcel placés à 1 mètre, en supposant qu'une flamme de carcel vaille environ 10 bougies ou chandelles. Mais cette lumière solaire a traversé toute l'épaisseur de l'atmosphère, et il faut tenir compte de la perte qu'elle a éprouvée. On peut admettre que l'absorption de lumière par l'atmosphère terrestre ne diffère pas beaucoup de ce qu'elle serait si cette atmosphère était condensée de manière à présenter, sur toute sa hauteur, la même pression et la même température qu'à la surface de la mer. Sa hauteur serait, dans cette hypothèse, de 8 kilomètres environ; et en supposant que les observations aient été faites au moment de la plus grande élévation qu'atteint le soleil dans nos latitudes, on peut évaluer à 9 kilomètres l'épaisseur d'air traversée par les rayons lumineux. De plus, comme le ciel était pur et l'air transparent, on peut admettre pour le coefficient de transparence de l'atmosphère la valeur $a = 0,966$ par kilomètre, qui correspond, comme on le verra dans le chapitre III, à ce que nous appelons le temps clair dans l'évaluation des portées de phares. Ce coefficient, appliqué à 9 kilomètres, donne pour la proportion de lumière que

l'atmosphère laisse arriver à la terre $(0,966)^2$, et comme l'intensité lumineuse observée est de 6000 becs placés à 1 mètre, on peut évaluer approximativement à $\frac{6000}{(0,966)^2}$, ou à 8200 becs placés à 1 mètre, l'intensité de la lumière solaire avant l'absorption par l'atmosphère. Or, une petite sphère placée à cette distance et sous-tendant un angle de 32 minutes comme le soleil, aurait une surface apparente de $0^{cq},6805$, et il est facile de voir d'après cela que l'intensité lumineuse de la surface solaire est $\frac{8200}{0,6805}$, ou environ 12 050 becs par centimètre carré. C'est 47 fois celle de la lumière électrique, et plus de 26 000 fois celle de la flamme à 5 mèches.

Mais ce sont surtout les intensités spécifiques par centimètre cube qu'il est intéressant de comparer. L'intensité spécifique est donnée par la formule $i = \frac{I}{V} \cdot \frac{1}{K}$; dans le cas d'une sphère on peut remplacer V par $\frac{2}{3}\, d.\, S$, d étant le diamètre et S la surface d'un grand cercle, on a alors $i = \frac{I}{S} \cdot \frac{3}{2d} \cdot \frac{1}{K}$. Pour la lumière électrique, on a trouvé $\frac{I}{S} = 255$, on a $d = 1$, et en mettant à la place de K sa valeur pour $d = 1$, on a

$$i = 382 \cdot \frac{\log^2 a}{1 - a + a \log a - \frac{1}{2} \log^2 a}.$$

Pour le soleil la formule se simplifie. Lorsque d croît indéfiniment, l'expression

$$\frac{3}{2d}\,\frac{1}{K} \quad \text{ou} \quad \frac{d^2 \log^2 a}{2\left(1 - a^d + d a^d \log a - \frac{1}{2} d^2 \log^2 a\right)},$$

converge, comme il est facile de s'en assurer, vers une limite fixe qui est — log a ; de sorte que la formule pour le soleil devient :

$$i = \frac{I}{S}(-\log a), \quad \text{ou} \quad i = 12\,050(-\log a).$$

Cette formule est la même que celle que nous avons trouvée pour exprimer la limite de l'intensité d'un cylindre ou d'un prisme lumineux, $I = \frac{\omega\, i}{-\log a}$, seulement la surface ω de la section du prisme est remplacée par la surface S du grand cercle du soleil. Nous avons vu que cette intensité limite est produite à peu près en entier par une faible longueur du prisme, et que les parties du prisme qui se trouvent au delà de cette longueur n'ont qu'une influence insensible sur l'intensité observée. Il en est de même ici pour le soleil; de sorte que la formule dont nous nous servons ne suppose pas nécessairement que le soleil continue à être gazeux au delà d'une faible profondeur à partir de la surface.

Nous ne connaissons ni la transparence de la lumière électrique ni celle du gaz incandescent qui se trouve à la surface du soleil. Nous ne pouvons donc que faire des hypothèses sur la valeur du coefficient a, et calculer pour chacune d'elles les intensités spécifiques par centimètre cube, au moyen des deux formules ci-dessus :

Coefficient de transparence a	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
Intensité spécifique de la lumière électrique.	458	434	411	396	390	382
Intensité spécifique du soleil.	6155	4298	2689	1270	641	121
Rapport.	13,4	9,9	6,5	3,2	1,6	0,3

On voit que, dans l'hypothèse d'une transparence à peu près égale à celle des flammes de lampe dont le coefficient est $a = 0,80$, l'intensité spécifique de la flamme solaire

serait égale à 6 fois et demie celle de la lumière électrique et vaudrait 24000 fois celle de la lampe à 5 mèches. Mais il est très-possible que la transparence de la flamme solaire soit plus grande, et alors il suffirait, pour expliquer les phénomènes, de lui attribuer une intensité spécifique plus petite suivant les indications du tableau précédent. Ainsi, dans le cas où l'on aurait $a = 0,90$ ou $a = 0,95$, cette intensité spécifique du soleil ne devrait être que 3 fois ou 1 fois et demie celle de la lumière électrique; il suffirait qu'elle lui fût égale ou qu'elle n'en fût que le tiers si on supposait $a = 0,97$ ou $a = 0,99$.

Il ne faut pas attribuer à ces calculs plus d'importance qu'ils n'en ont. Les notions qu'on possède sur la constitution du soleil sont encore incertaines ; et quant à la source lumineuse produite par l'électricité, en la supposant formée d'une petite sphère de gaz incandescent, on s'éloigne beaucoup de la réalité, puisque les pointes des charbons polaires constituent la partie la plus brillante de cette source. Les résultats obtenus ne s'appliquent réellement qu'aux hypothèses qu'on a faites; ils n'en donnent pas moins une idée de la grandeur relative des quantités qu'on cherche à comparer.

II. — Intensités lumineuses des appareils.

Les intensités lumineuses des appareils optiques s'obtiennent en général au moyen d'expériences photométriques suffisamment répétées pour qu'on puisse prendre des moyennes. Mais, ainsi que nous l'avons dit à l'occasion des lampes, les circonstances qui peuvent faire varier l'intensité de l'appareil ou celle de la lumière unité sont si nombreuses qu'on arrive difficilement à des résultats concordants. Il est indispensable de contrôler ces résultats et de

les comparer entre eux pour les soumettre à la loi de continuité.

Il faut d'abord remarquer qu'il est, jusqu'à un certain point, possible de prévoir les résultats que doit donner un appareil optique. On peut en effet déterminer la quantité de lumière émise par la lampe focale dans chaque direction, tenir compte de la perte qu'elle éprouve en traversant les lentilles, et en conclure la quantité totale de lumière émise par chaque partie de l'appareil. Ce calcul appliqué aux différentes lentilles de feu fixe et de feu à éclats, permet de contrôler et de corriger au besoin les chiffres donnés par l'expérience. Puis, ensuite, en comparant entre eux les résultats relatifs à différentes combinaisons d'appareils et de lampes, on peut, comme nous l'avons déjà fait pour les flammes de lampes, les relier par des formules ou par des courbes, de manière à faire disparaître les anomalies qu'ils peuvent présenter.

Quantités de lumière émises par les appareils. — La lumière émise par une lampe à mèches circulaires présente dans toutes les directions horizontales la même intensité; mais si l'on considère des directions plus ou moins inclinées dans un même plan vertical, on obtient des résultats qui varient beaucoup. En s'élevant au-dessus du plan horizontal, l'intensité va en diminuant, soit parce que la surface apparente de la flamme diminue, soit parce que les parties supérieures sont moins chaudes et par conséquent moins brillantes. Cette décroissance de l'intensité est encore plus rapide au-dessous du plan horizontal, parce que le sommet du bec masque des portions de flamme de plus en plus considérables. La loi de ces variations n'est sans doute pas tout à fait la même pour les différentes lampes, puisqu'elle dépend de la forme et de la hauteur de la flamme; mais les différences doivent être peu considérables d'une lampe à l'autre. On trouve par exemple que pour une flamme à quatre mèches, l'intensité représentée par 1 dans

une direction horizontale, devient, en s'élevant de 10 en 10° jusqu'à la verticale :

0,995, 0,985, 0,945, 0,890, 0,820, 0,745, 0,685, 0,625, 0,600,

et en s'abaissant de 10 en 10°,

0,980, 0,955, 0,790, 0,490, 0,200, 0,090, 0,030, 0,000, 0,000.

Ces variations d'intensité sont représentées graphiquement par la *fig.* 10, Pl. 15,

Si maintenant nous considérons une sphère dont la flamme occupe le centre, et si nous la supposons partagée en un certain nombre de zones horizontales d'une faible largeur, chaque zone sera uniformément éclairée dans tout son développement, mais l'intensité lumineuse variera d'une zone à l'autre conformément à la loi que nous venons d'indiquer. Si nous calculons la surface de chacune de ces zones et si nous multiplions cette surface par l'intensité moyenne de la lumière qu'elle reçoit, nous aurons, en ajoutant tous les résultats, une évaluation de la quantité totale de lumière émise par la lampe.

Nous prendrons pour unité de surface le petit carré ayant pour côté la longueur de l'arc d'un degré, et au lieu de considérer la lumière émise tout autour de l'horizon, nous ne calculerons que celle qui se trouve comprise entre deux plans verticaux passant par l'axe et faisant un angle de 1°; il suffira ensuite de multiplier par 360 les résultats obtenus, si l'on veut avoir ceux qui concernent la circonférence entière. On trouve ainsi que les quantités de lumière répandues sur chaque portion de zone de 10° de hauteur sont, en montant à partir de l'horizon :

9,924, 9,550, 8,735, 7,506, 6,043, 4,482, 3,018, 1,693, 0,533,

et en descendant au-dessous de l'horizon :

9,850, 9,237, 7,807, 5,236, 2,436, 0,831, 0,253, 0,039, 0,000.

Ces chiffres, représentés par la courbe de la *fig.* 11, sont les coefficients par lesquels il faudra multiplier l'intensité de la lampe placée au foyer pour avoir les quantités de lumière envoyée par cette lampe sur chacune des dix-huit zones considérées. Ils permettent de déterminer la quantité de lumière reçue par chacune des trois parties qui composent un appareil. Il suffit en effet de rechercher, pour les différents ordres, la position et l'amplitude de l'angle occupé par chacune de ces parties, et de calculer le coefficient total qui correspond à cet angle. En multipliant ce coefficient par l'intensité de la lampe, on obtient la quantité de lumière dont il s'agit. Ainsi, par exemple, la coupole catadioptrique du 1er ordre s'étendant de 29°,2 à 76°, on prend d'abord la somme des quatre coefficients de 30 à 70° au-dessus de l'horizon, ce qui donne 21,049; on y ajoute, d'une part les 8 centièmes du coefficient 8,735 correspondant à l'angle de 20 à 30°, et d'autre part, les 6 dixièmes du coefficient 1,693 relatif à l'angle de 70 à 80°. Le coefficient total pour la coupole est donc 22,76, et en le multipliant par l'intensité de la lampe à cinq mèches, qui est de 36 *becs*, on obtient 819 pour la quantité de lumière reçue par la coupole du 1er ordre dans un angle de 1° formé par deux plans verticaux, l'unité adoptée dans cette évaluation étant, comme nous l'avons dit, la quantité de lumière émise horizontalement par une lampe unité sur un carré de 1° de côté. On trouve de même 1865 et 259 pour les quantités de lumière reçues par la lentille centrale et par la couronne inférieure du 1er ordre. Ces nombres deviendraient 515, 1362 et 153 pour les trois parties de l'appareil de 2e ordre, 272, 848 et 70 pour le 3e ordre, et ainsi de suite.

Il s'agit maintenant d'évaluer les pertes que subit cette quantité de lumière en traversant l'appareil optique. Elles sont de trois sortes. Il y a d'abord la perte due aux réflexions sur les faces du verre à l'entrée et à la sortie. Cette

perte dépend de l'angle d'incidence et peut être évaluée à... 0,050, 0,052, 0,058, 0,075, 0,120, 0,230, suivant que l'angle d'incidence est de 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°. Dans les anneaux catadioptriques, le rayon lumineux subissant trois déviations au lieu de deux, ces chiffres doivent être multipliés par 3/2. La seconde perte est due à l'absorption de la lumière par le verre qu'elle traverse. Elle est donnée par une formule exponentielle ; mais on peut, sans grande erreur, la supposer proportionnelle à l'épaisseur et l'évaluer à raison de 0,03 par centimètre de verre traversé. Enfin la perte due soit aux joints horizontaux des lentilles dioptriques, soit à l'intervalle des anneaux, varie de 0,02 à 0,03 ou de 0,01 à 0,04 en allant du 1er au 5e ordre.

Si l'on fait pour chaque appareil le calcul aussi exact qu possible de ces différentes pertes, on reconnaît que les lentilles dioptriques conduisent toutes à peu près au même résultat, et que la perte éprouvée par la lumière qui les traverse peut être fixée à 13 centièmes. Quant aux anneaux catadioptriques, ils présentent, suivant l'ordre de l'appareil, de légères différences ; la perte qu'ils occasionnent peut être évaluée à 30 centièmes pour les deux premiers ordres, à 29 centièmes pour le troisième et le quatrième ordre, et à 27 centièmes pour le cinquième ordre.

En réduisant dans ces proportions les quantités de lumière que les différents appareils reçoivent de la lampe, on obtient les quantités de lumière qu'ils émettent vers l'observateur. On trouve par exemple que les trois parties de l'appareil de premier ordre émettent respectivement 573, 1623 et 181, soit en tout 2377 unités de lumière. Cette quantité totale de lumière émise devient 1653 dans un appareil de deuxième ordre, et successivement 981, 464, 147 dans les appareils des trois derniers ordres. Ces chiffres nous serviront à contrôler les résultats des mesures photométriques.

Intensités des feux fixes. — Considérons un appareil de

feu fixe illuminé par la lampe qui lui correspond, et imaginons qu'il soit entouré à une distance convenable par un vaste écran cylindrique ayant même axe que l'appareil. La lumière reçue sur cet écran formera une bande circulaire dont tous les points situés sur un même cercle horizontal seront également éclairés. Si l'on partage cette bande par des lignes verticales en 360 parties égales, chacune de ces parties correspondra à un degré, et devra contenir une quantité de lumière précisément égale à celle que nous avons calculée. Si donc, au moyen d'un photomètre, nous mesurons de degré en degré, dans le sens vertical, les intensités lumineuses fournies par l'appareil, chacune de ces intensités étant applicable à un carré de 1 degré, le chiffre qui la représente donnera, d'après nos conventions, la quantité de lumière correspondante à ce carré, et la somme de toutes ces intensités devra reproduire les chiffres du calcul théorique. Si, pour plus d'exactitude, nous mesurons les intensités de demi en demi-degré, chacune d'elles, s'appliquant alors à la moitié du carré d'un degré, devra être multipliée par 1/2, ce qui revient à dire qu'il faudra dans ce cas prendre la moitié de la somme pour retrouver les résultats du calcul. Les expériences photométriques doivent être répétées un certain nombre de fois afin d'éliminer les causes d'erreur; en combinant ensuite les résultats obtenus, on parvient à établir des chiffres d'intensité qui représentent aussi bien que possible les expériences et qui satisfont en même temps à la condition de donner à peu près la quantité totale de lumière calculée théoriquement. Ainsi, par exemple, la lentille centrale de l'appareil de 1er ordre donne dans le plan horizontal une intensité de 760 becs, laquelle se réduit à 560, 250, 80 et 20 becs, ou à 590, 370, 240, 160, 110, 70, 30, à mesure qu'on s'élève ou qu'on s'abaisse de demi en demi-degré à partir de l'axe. La somme de ces 12 intensités est 3240, et en la multipliant par l'intervalle des observations, qui est 1/2, on obtient le nombre 1620, qui représente

bien à très-peu près la quantité de lumière déjà calculée. On arrive à des vérifications analogues pour chacune des 3 paties des différents appareils. La *fig.* 17 représente les intensités d'un appareil entier de 1[er] ordre dans un plan vertical.

Les intensités totales que les mesures photométriques donnent pour les 5 ordres d'appareils sont

1090, 600, 380, 74 et 17,5 becs.

Si l'on prend le rapport de chacune de ces intensités à la quantité totale de lumière que nous avons indiquée plus haut comme étant fournie par l'appareil, on trouve

0,45, 0,36, 0,29, 0,16, 0,12.

Ces chiffres représentent le rapport de la quantité de lumière comprise dans une bande horizontale de 1° de hauteur dont le plan focal forme le milieu, à la quantité de lumière répandue sur la zone entière qu'éclaire l'appareil. On reconnaît ainsi que l'appareil de 1[er] ordre concentre dans cette bande de 1° près de la moitié de la lumière totale, et que cette concentration va en diminuant en même temps que le diamètre de l'appareil: elle n'est plus que de 1/8 pour l'appareil de 5[e] ordre.

Si pour les 5 ordres d'appareils on calcule la proportion dans laquelle chacune des 3 parties de l'appareil concourt à produire l'intensité totale, on trouve que cette proportion varie de 0,200 à 0,207 pour la coupole, de 0,697 à 0,720 pour le tambour, et de 0,080 à 0,096 pour la couronne inférieure. On peut dire approximativement que l'appareil entier et les 3 parties qui le composent produisent des intensités qui sont entre elles comme les nombres 10, 2, 7, 1.

Coefficients des différents appareils de feu fixe. — Nous appelons coefficient d'un appareil le rapport dans lequel cet appareil augmente l'intensité de la lampe placée à son foyer.

En calculant ce rapport d'après les intensités précédemment indiquées pour chaque ordre d'appareil on trouve

30,28, 25,00, 19,58, 10,72, 7,96.

c'est-à-dire que l'appareil entier de feu fixe de 1[er] ordre produit une intensité lumineuse égale à 30 fois celle de la lumière à 5 mèches placée à son foyer, tandis que ce rapport se réduit à 8 environ pour le 5[e] ordre.

D'un autre côté, si l'on calcule la divergence verticale que produit chaque appareil, eu égard à sa distance focale et à la hauteur de la flamme, on trouve en degrés et centièmes de degré

$$5^\circ{,}63, \quad 6^\circ{,}70, \quad 8^\circ{,}27, \quad 13^\circ{,}99, \quad 18^\circ{,}07.$$

On voit donc que les coefficients sont d'autant plus petits que la divergence est plus grande, et il est naturel de supposer qu'ils doivent varier en raison inverse d'une certaine puissance de cette divergence. Or, la hauteur de la flamme étant, comme nous l'avons vu, proportionnelle à la racine carrée du diamètre, la divergence verticale sera proportionnelle à $\frac{\sqrt{d}}{f}$, en appelant d le diamètre et f la distance focale. On pourra donc représenter le coefficient m de l'appareil par une formule de la forme

$$m = A\left(\frac{f}{\sqrt{d}}\right)^n,$$

et en déterminant A et n de manière à satisfaire le mieux possible aux résultats de l'expérience on trouve :

$$m = \frac{2}{3}\left(\frac{f}{\sqrt{d}}\right)^{1,15}.$$

Si l'on veut avoir ce coefficient en fonction de h au lieu de d on peut, en vertu de la relation $h = 2{,}73\sqrt{d}$, l'écrire

$$m = 2{,}12\left(\frac{f}{h}\right)^{1,15}.$$

Les valeurs calculées par cette formule sont d'accord avec

celles qui résultent des intensités obtenues. Elles sont représentées par la courbe de la *fig.* 13, Pl. 15.

Dans certaines circonstances on est conduit à illuminer les appareils avec des lampes différentes de celles qui leur sont habituellement affectées. Ainsi un de nos phares de 2ᵉ ordre est éclairé par une lampe à 5 mèches, et un appareil de 4ᵉ ordre a reçu une lampe à 3 mèches. La formule précédente, déterminée empiriquement pour des cas spéciaux, n'est pas nécessairement applicable à ces nouveaux systèmes. Cependant les différentes combinaisons de lampes et d'appareils qui ont pu être soumises à l'expérience ont donné des résultats tendant à faire admettre que la formule est généralement applicable, pourvu qu'on ne sorte pas de certaines limites et qu'on se borne, par exemple, à remplacer la lampe habituelle de l'appareil par celle qui la précède ou qui la suit immédiatement dans l'ordre des numéros.

Le tableau suivant fait connaître les coefficients calculés d'après cette formule pour les différentes combinaisons d'appareils et de lampes, y compris la lumière électrique. Nous y avons introduit un second appareil de 5ᵉ ordre de $0^m,375$ de diamètre, qui est souvent employé, et même un petit appareil de $0^m,20$ utilisé dans quelques cas rares. Nous avons en outre complété la série par un appareil de $0^m,75$ de diamètre, qui est intermédiaire entre le 3ᵉ et le 4ᵉ ordre, et qui pourrait être employé dans certaines circonstances. Le tableau comprend les résultats donnés par la formule pour toutes les combinaisons qu'on peut faire en associant chaque lampe avec chacun des appareils considérés; mais les chiffres renfermés entre parenthèses répondent à des systèmes qui n'ont pas été soumis à l'expérience et qui d'ailleurs ne sont pas pour la plupart susceptibles d'application. Les autres coefficients sont les seuls dont il y ait lieu de se servir dans la pratique.

LAMPE. Nombre de mèches.	DIAMÈTRE du bec et de la flamme. d	HAUTEUR de la flamme. h	DIAMÈTRE DES APPAREILS $2f$.							
			1m,84	1m,40	1m,00	0m,75	0m,50	0m,375	0m,30	0m,20
6	13	9c,84	27,65	[20,20]	[13,72]	[9,85]	[6,18]	[4,44]	[3,43]	
5	11	9 ,05	30,47	22,23	[15,10]	[10,85]	[6,80]	[4,89]	[3,78]	
4	9	8 ,19	34,16	24,95	16,94	[12,27]	[7,64]	[5,48]	[4,24]	
3	7	7 ,22	[39,48]	28,83	19,58	[14,06]	8,82	[6,34]	[4,90]	
2	5	6 ,10	[47,90]	[34,98]	23,76	[17,07]	10,71	7,69	5,95	[3,73]
1	3	4 ,73	[64,26]	[46,93]	[31,87]	[22,89]	14,36	10,32	7,98	5,01
Électrique.	1	1 ,50	[227, »]	[166, »]	[113, »]	[81, »]	51, »	36, »	28, »	

En multipliant les intensités des lampes par les coefficients ainsi déterminés, on obtient les intensités lumineuses de chaque système, et l'on peut ensuite répartir cette intensité entre les trois parties du même appareil dans la proportion précédemment indiquée. Les résultats sont donnés plus loin dans le tableau récapitulatif des intensités.

Il est intéressant de remarquer que la même formule s'applique très-bien aux appareils illuminés par les anciennes lampes à huile de colza. Si l'on prend en effet dans le mémoire de M. l'inspecteur général Reynaud les diamètres des anciens becs, et si l'on applique la formule précédente, on retrouve à très-peu près les intensités qui ont été données dans ce mémoire.

Intensité des lentilles annulaires et des lentilles à éléments verticaux. — Les intensités des feux fixes étant ainsi déterminées, il va être facile de calculer celles des feux à éclats produits soit par des lentilles annulaires, soit par des lentilles à éléments verticaux. Occupons-nous d'abord des lentilles annulaires, et prenons pour exemple une lentille de tambour dioptrique de 1er ordre occupant 1/8 de l'horizon ou 43°,3, déduction faite de l'épaisseur du cadre.

Si nous recevons sur un écran vertical suffisamment éloi-

gné les rayons lumineux émis par cette lentille, nous obtiendrons une image renversée de la flamme à 5 mèches placée à son foyer, et nous pourrons, au moyen du photomètre, mesurer les intensités lumineuses des différents points de cette image. Choisissons des points placés en échiquier de demi-degré en demi-degré à partir de l'axe dans le sens vertical et dans le sens horizontal, et additionnons toutes les intensités obtenues. Chacune de ces intensités correspondant à une surface égale au quart du carré de 1 degré, le quart de la somme représentera la quantité de lumière émise par la lentille en divisant cette quantité par le nombre 43,3, qui représente l'angle embrassé par la lentille, on aura la quantité de lumière correspondant à 1 degré, et l'on devra retrouver celle qui a déjà été indiquée pour le tambour de feu fixe. C'est en effet ce qu'on vérifie. Le tableau suivant donne les intensités des différents points de l'image, mais seulement de degré en degré, afin de simplifier. La somme des intensités est de 70 340, ce qui donne 1624 pour la quantité de lumière correspondant à 1 degré, et c'est à peu près le même chiffre que pour le tambour de feu fixe.

DEGRÉS.	3°	2°	1°	0°	1°	2°	3°	SOMME totale.	SOMME pour 1°.
2°		70	230	280	230	70		880	20
1°	370	1550	2220	2460	2220	1550	370	10 740	248
0°	1630	4700	6550	7150	6550	4700	1630	32 910	760
1°	750	2280	3200	3530	3200	2280	750	15 990	369
2°		950	1360	1770	1560	950		6 790	157
3°		250	810	910	810	250		3 030	70
Totaux.								70 340	1624

La *fig.* 16 représente la forme de l'image éclairée. Sur cette image sont tracées les lignes d'égale intensité, de 1000 en 1000 becs, depuis la courbe qui limite la figure et dont l'intensité est nulle, jusqu'à la petite courbe intérieure relative aux points qui ont 7000 becs. Au-dessus

et à gauche de cette image se trouvent (*fig.* 14 et 15) les courbes des intensités prises sur la ligne horizontale et sur la ligne verticale qui correspondent à l'axe optique de la lentille. Toutes ces courbes résultent de moyennes calculées sur un certain nombre de résultats et ont été plus ou moins modifiées, de manière à présenter une forme régulière; c'est ainsi que la courbe des intensités dans le plan focal a la forme d'une parabole. On doit donc les considérer comme des courbes théoriques satisfaisant le mieux possible aux expériences.

La vérification que nous avons indiquée sur la quantité totale de lumière contenue dans l'image peut également se faire sur la quantité de lumière donnée par une tranche horizontale. Ainsi, dans le plan focal, la somme des intensités est de 32910, et ce nombre, divisé par 43,3, donne 760, qui représente bien l'intensité du tambour de feu fixe.

Cette remarque est importante et va nous permettre d'établir une relation entre l'intensité d'un feu fixe et celle du feu à éclats correspondant. Nommons A l'intensité de *l'éclat dans* l'axe, y l'intensité en un autre point du plan focal situé à x degrés de l'axe, α la demi-divergence horizontale; la forme parabolique étant celle qui convient le mieux pour représenter ces intensités, nous aurons la relation :

$$y = A\left(1 - \frac{x^2}{\alpha^2}\right).$$

La somme des intensités ou la quantité de lumière correspondante sera représentée par la surface de cette parabole, qui est égale à $\frac{4}{3}A\alpha$. D'un autre côté, appelons a l'intensité du feu fixe et φ l'angle sous-tendu par la lentille annulaire; la quantité de lumière émise par le feu fixe dans cet angle φ sera φa, et elle devra être égale à celle que la len-

tille annulaire concentre dans l'angle de la divergence horizontale. On devra donc avoir :

$$\frac{4}{3}A\alpha = \varphi a, \quad \text{d'où} \quad A = a.\frac{3\varphi}{4\alpha}.$$

Ainsi l'intensité d'une lentille annulaire s'obtiendra en multipliant l'intensité du feu fixe correspondant par un coefficient $\frac{3\varphi}{4\alpha}$ qu'il est facile de calculer dans chaque cas. Cette formule est générale; elle s'applique aux lentilles annulaires de la coupole ou de la couronne inférieure comme à celles du tambour; mais il faut calculer pour chaque partie la véritable valeur moyenne de la divergence 2α. Cette divergence diminue à mesure qu'augmente la distance du foyer à l'élément de lentille que l'on considère, et l'on doit en calculer la moyenne en tenant compte de la quantité de lumière que reçoit chacun de ces éléments de lentille.

Si nous désignons par D la distance d'un élément lenticulaire au foyer, et par m le coefficient de la quantité de lumière qui correspond à l'angle vertical occupé par cet élément, la distance moyenne sera $\frac{\Sigma m D}{\Sigma m}$, la somme Σ s'étendant à tous les éléments de la lentille dont il s'agit, et si d est le diamètre de la flamme, la divergence pourra se calculer par la formule :

$$2\alpha = \frac{180}{\pi}.d.\frac{\Sigma m}{\Sigma m D}.$$

La divergence moyenne étant déterminée, le reste du calcul s'achève sans difficulté.

Pour les lentilles à éléments verticaux, la même formule est applicable, seulement la divergence 2α doit être calculée en tenant compte de la distance focale, qui est plus grande que pour les lentilles annulaires, et cette divergence reste la même dans toute la hauteur de l'appareil. Dans le

cas de la lumière électrique les lentilles verticales sont ordinairement calculées de manière à augmenter la divergence horizontale et, par suite, la durée des éclats ; c'est évidemment la divergence effective qui doit entrer dans le calcul. Il faut d'ailleurs tenir compte de la perte que la lumière éprouve en traversant cette nouvelle lentille, ce qui revient à multiplier les résultats par le coefficient de réduction 0,87 adopté précédemment.

Les résultats qu'on obtient pour les différentes lentilles annulaires ou à éléments verticaux, sont indiqués ci-après dans le tableau récapitulatif des intensités.

Intensités pratiques des lentilles employées dans les phares. — Les différentes formules que nous venons d'indiquer permettent de déterminer les intensités lumineuses produites par toutes les combinaisons de lentilles qu'on peut être conduit à employer. Nous allons les résumer dans le tableau suivant; mais il y a lieu préalablement de leur faire subir une certaine réduction.

Nous avons en effet supposé que les flammes des lampes avaient tout leur développement et que les lentilles étaient dans un parfait état d'entretien. Or, dans la pratique, les flammes ne peuvent pas donner constamment le maximum d'effet dont elles sont susceptibles, et les lentilles perdent quelquefois avec le temps un peu de leur poli et de leur transparence, indépendamment des petites erreurs de forme ou de montage qu'elles peuvent présenter. Il ne faut donc pas attribuer à la lumière fournie par les appareils des phares une intensité aussi élevée que celle qui résulte des expériences ou des calculs. De plus, cette lumière éprouve une perte en traversant les glaces de la lanterne, et cette perte est assez importante, eu égard à ce que les glaces, exposées aux injures de l'atmosphère, ne peuvent pas conserver un poli parfait et sont souvent ternies par la poussière ou la vapeur.

Ces différentes causes de réduction ne peuvent être

calculées exactement; elles varient d'ailleurs suivant les circonstances. Il y a lieu de penser qu'on en tiendra suffisamment compte en diminuant d'un cinquième ou multipliant par 0,8 les valeurs précédemment indiquées.

Le tableau suivant contient les intensités ainsi réduites; ce sont celles qu'on peut raisonnablement admettre dans la pratique :

INDICATION des lentilles.		INTENSITÉ. Coupole.	Tambour.	Couronne inférieure.	Totale.
Lentilles de feu fixe.	mèches				
1er ordre, 1m,84.	6	228	770	107	1105
	5	181	612	85	878
2e ordre, 1m,40.	5	128	448	64	640
	4	96	344	39	479
3e ordre, 1m,00.	4	67	233	26	326
	3	46	160	18	224
4e ordre, 0m,50.	3	21	72	8	101
	2	12,2	42,3	4,7	59,2
5e ordre 0m,375	2	8,5	30,5	3,4	42,4
5e ordre 0m,375	1	3,7	13,3	1,4	18,4
5e ordre 0,30	1	»	»	»	11,0
5e ordre 0,20	1	»	»	»	8,8
Électrique. 0m,75	lumière de 200 becs	»	»	»	12900
Électrique. 0,50	lumière de 200 becs	»	»	»	8100
Électrique. 0,375	lumière de 200 becs	»	»	»	5700
Électrique. 0,300	lumière de 200 becs	»	»	»	4500
Lentilles annulaires.					
1er ordre, 6 mèches.	1/8	2314	6495	1038	9847
	1/16	1115	3135	502	4752
	1/24	722	2027	324	3073
1er ordre, 5 mèches.	1/8	2175	6114	966	9255
	1/16	1050	2950	466	4466
	1/24	678	1910	301	2889
2e ordre, 5 mèches.	1/8	1174	3508	464	5146
2e ordre, 4 mèches.	1/8	1081	3200	419	4700
3e ordre, 4 mèches.	1/6	753	2090	263	3106
	1/16	258	717	90	1065
3e ordre, 3 mèches.	1/6	667	1840	234	2741
	1/16	229	630	80	939

INDICATION des lentilles.		INTENSITÉ. Coupole.	Tambour.	Couronne inférieure.	Totale.
4e ordre, 3 mèches.	1/6	132	400	48	580
	1/10	75	227	27	329
4e ordre, 2 mèches.	1/6	110	329	39	478
	1/10	62	186	22	270
5e ordre. 0m,375 2 m.	1/2	168	526	62	756
	1/6	56	175	21	252
5e ordre. 0m,375 1 m.	1/2	122	382	44	548
	1/6	41	127	14	182
5e ordre. 0m,30 1 m.	1/6	23	77	9	109
Lentilles à éléments verticaux.	mèches				
1er ordre, 7 éléments.	6	1375	4646	646	6667
	5	1280	4333	500	6213
2e ordre, 9 éléments.	5	924	3315	382	4621
	4	842	3017	344	4203
3e ordre, 7 éléments.	4	438	1518	167	2123
	3	390	1347	148	1885
4e ordre, 5 éléments.	3	109	376	42	527
	2	89	306	34	429
5e ordre, 0m,375 5 éléments.	2	59	214	23	296
	1	43	154	17	214
Électrique, 0m,75; lentille, 1/16; divergence, 3°,7.		»	»	»	98200
Électrique, 0m,50; lentille, 1/16; divergence, 3°,7.		»	»	»	61800
Électrique, 0m,30; lentille, 1/8; divergence, 18°.		»	»	»	14200

L'application des chiffres contenus dans ce tableau aux différents phares du littoral exige quelques explications. Il faut d'abord remarquer que les intensités ont été déterminées pour les lentilles telles qu'on les construit aujourd'hui, tandis que plusieurs phares établis dans les années qui ont suivi l'invention du système lenticulaire contiennent encore de vieux appareils dont l'intensité est moindre. Cette intensité peut être évaluée soit d'après d'anciennes mesures photométriques, soit par un calcul approximatif. Plusieurs de ces appareils, qui n'éclairent pas tout l'horizon, présentent dans l'angle mort un réflecteur métallique de forme sphérique; ces réflecteurs, qui sont depuis longtemps en service, ajoutent bien peu de chose à l'intensité de l'appareil; on peut se dispenser d'en tenir compte. Il n'en est pas de même des réflecteurs catadioptriques employés dans quelques nouveaux appareils. Ces réflecteurs se composent d'anneaux de verre de section triangulaire qui produisent deux réflexions totales intérieures et renvoient les rayons aux points d'où ils émanent. L'image qu'ils donnent est droite et a la même forme que la flamme réelle, à laquelle elle se superpose en augmentant l'intensité produite. Nous avons indiqué, à l'occasion de l'étude précédente sur la transparence des flammes, que cette augmentation d'intensité atteignait à peine 38 p. 100. Nous en tiendrons compte lorsque nous déterminerons l'intensité des appareils qui comprennent de semblables réflecteurs.

Intensité de quelques appareils spéciaux. — Plusieurs appareils présentent des dispositions spéciales qui exigent un calcul particulier pour l'évaluation des intensités. Nous en citerons quelques exemples:

Le phare des Triagoz produit un feu fixe blanc, varié par des éclats alternativement blancs et rouges, sans éclipses. L'appareil est de 3e ordre avec lampe à 3 mèches; la zone catadioptrique du bas et la partie inférieure du tambour,

sur $0^m,436$ de hauteur, y compris l'élément central, produisent un feu fixe dont l'intensité est

$$18 + \frac{436}{660} . 160 = 124 \text{ becs.}$$

La coupole et la partie supérieure du tambour, sur $0^m,224$ de hauteur, sont disposées en lentilles annulaires destinées à produire des éclats; mais afin d'augmenter l'intensité de ceux qui doivent être colorés en rouge, les 4 lentilles annulaires qui les produisent occupent chacune un espace angulaire de 60°, tandis que les 4 autres lentilles dont les éclats doivent rester blancs n'occupent que 30° chacune. Ces deux espèces de lentilles se succèdent, et afin qu'elles puissent se raccorder par leurs bords, les plus étroites ont une distance focale un peu plus grande que les autres, $0^m,558$ au lieu de $0^m,50$. L'intensité de l'éclat pour les lentilles annulaires occupant 60° ou 1/6 de l'horizon sera :

$$667 + \frac{224}{660} . 1840 = 1291.$$

Les lentilles qui occupent 30° ou 1/12 de l'horizon, auraient pour intensité, si elles avaient la même distance focale,

$$315 + \frac{224}{660} . 870 = 610.$$

Mais si l'on veut tenir compte de leur distance focale, il faut multiplier cette intensité, d'un côté par $\left(\frac{0,588}{0,500}\right)^{1,15}$ conformément à la formule qui donne le coefficient des appareils de feu fixe, et d'un autre côté par $\frac{0,588}{0,500}$ pour tenir compte de la diminution de divergence horizontale; on arrive ainsi à une intensité de $610 \times 1,417 = 864$.

Le phare de 3e ordre établi sur le Grand-Jardin présente

des dispositions analogues. Le feu fixe est produit par la zone inférieure et par les $\frac{49}{66}$ du tambour, il a pour intensité

$$18 + \frac{49}{66} . 160 = 137 \text{ becs.}$$

a partie mobile se compose de 10 lentilles annulaires gales, comprenant la coupole et les $\frac{17}{66}$ du tambour; l'intensité de chaque éclat est donc

$$585 + \frac{17}{66} . 1062 = 659 \text{ becs.}$$

Ces éclats sont colorés alternativement en rouge et en vert.

Le phare de la Palmyre doit éclairer uniformément un espace angulaire de 45°. On a employé un appareil de feu fixe de $0^m,50$ de diamètre, éclairant à peu près la moitié de l'horizon, soit 80° de chaque côté de l'axe; un réflecteur catadioptrique occupe l'angle opposé de 160°; une lampe à 3 mèches est placée au foyer. L'intensité du feu fixe est de 101 becs, plus une augmentation de 38 p. 100 due au réflecteur, soit 139 becs. Une partie de cette lumière est comprise dans l'angle de 45° qu'il s'agit d'éclairer, mais les rayons qui se dirigent en dehors de cet angle et qui occupent de chaque côté un espace angulaire de 57° 1/2, doivent être ramenés dans l'angle central de 45°. On y parvient au moyen de prismes verticaux disposés dans chacun des angles de 57° 1/2, et calculés de manière à réfléchir la lumière en la répartissant uniformément dans la moitié correspondante de l'angle à éclairer. L'intensité se trouve augmentée dans le rapport inverse des angles, et elle subit, en passant à travers les prismes, une réduction représentée, comme nous l'avons vu, par le coefficient 0,71; on a donc pour l'intensité,

$$139 \times \frac{57,5}{22,5} \times 0,71 = 252 \text{ becs,}$$

de sorte que l'intensité totale du feu fixe dans l'angle de 45° sera

$$139 + 252 = 391 \text{ becs.}$$

Cet appareil de la Palmyre, qui a été installé en 1870, est représenté par les *fig.* 8, 9 et 10 de la Pl. 14.

Quant aux phares des Triagoz et du Grand-Jardin, ils remontent à une époque un peu antérieure, et ils ont été décrits dans le mémoire de M. l'inspecteur général Reynaud sur l'éclairage des côtes (le 1er page 105 et *fig.* 24 du texte, le 2e *fig.* 7, 8 et 9 de la Pl. V).

Joints inclinés et augmentation de hauteur du tambour. — Les appareils anciennement établis comprenaient un tambour d'une hauteur moindre que dans les phares plus récents. Un appareil de 2e ordre actuellement en construction présente, au contraire, une plus grande hauteur de tambour, et voici à quoi cela tient :

Dans le calcul des appareils lenticulaires qui a été imprimé en 1864, à la suite du mémoire précité de M. l'inspecteur général Reynaud, nous avons proposé de remplacer les joints horizontaux qui séparent les différents éléments des lentilles, par des joints inclinés suivant la direction du rayon réfracté. Ce changement présente plusieurs avantages : le poids de la lentille est diminué, l'angle extérieur des éléments devient moins aigu et par conséquent moins fragile, la perte de lumière due au joint disparaît presque entièrement. Mais en outre l'adoption de ce joint incliné conduit à une autre modification, l'accroissement de hauteur du tambour dioptrique. Fresnel avait d'abord fixé à 45° l'angle vertical occupé par les lentilles annulaires; cet angle a été ensuite porté successivement jusqu'à 57° pour le 1er ordre et 60 ou 65° pour les autres ordres. On avait deux motifs pour ne pas l'étendre au delà de cette limite : d'abord à mesure qu'on augmente la hauteur de la lentille, l'angle des rayons lumineux avec la face d'incidence va en dimi-

nuant, et les pertes par réflexion augmentent sensiblement ; ensuite l'angle extérieur des éléments à base horizontale, devient de plus en plus aigu et forme une saillie croissante, comme on le voit sur la *fig.* 18, Pl. 15 pour l'élément MPA'. On ne pourrait remédier à ce dernier inconvénient qu'en diminuant la hauteur des éléments; mais on multiplierait en même temps les joints et, par suite, les causes d'absorption de lumière. Le système des joints inclinés fait, comme nous l'avons dit, disparaître ces angles aigus et en saillie, puisqu'il réduit l'élément A'MP à la forme A'MN; il permet donc d'augmenter la hauteur de la lentille centrale, s'il doit en résulter quelque avantage.

Or il faut remarquer que si la lentille dioptrique est réduite à occuper un angle d'environ 30° de chaque côté de l'axe, l'angle FAL du rayon extrême avec la face d'incidence est de 60° environ; tandis que l'anneau catadioptrique BAC, qui vient immédiatement après, reçoit ce même rayon sur sa face d'incidence CA sous un angle FAC qui n'est que de 47° et qui produit par conséquent une plus grande perte par réflexion. A mesure qu'on augmente la hauteur LA de la lentille, l'angle FAL diminue, l'angle FAC augmente, et il arrive un moment où ces deux angles sont égaux. C'est alors qu'il convient de terminer la lentille pour passer aux anneaux. Si l'on nomme σ et α les angles d'incidence sur l'extrémité de la lentille et sur le premier anneau, c'est-à-dire les compléments des angles FAL et FAC, la théorie des anneaux catadioptriques conduit à la relation (p. 396 du mémoire précité):

$$\sin\alpha = l\sin(2\alpha + \sigma - 90),$$

et si l'on veut que α et σ soient égaux, il faut satisfaire à la relation

$$\sin\alpha + l\cos 3\alpha = 0,$$

laquelle donne

$$\alpha = 37^\circ\, 49'\, 20'', \quad \text{ou} \quad \alpha = 38^\circ\, 1'\, 32'',$$

suivant qu'on a

$$l = 1{,}54. \quad \text{ou} \quad l = 1{,}51.$$

C'est donc une amplitude de 38° environ au-dessus de l'axe qu'il faut donner à la lentille dioptrique au lieu de 30°. Il y aurait même avantage, sous ce rapport, à l'étendre plus loin; car l'absorption de lumière due à l'épaisseur du verre est plus grande dans les anneaux que dans les lentilles; mais d'un autre côté, il faut tenir compte des effets que produit le phénomène de la dispersion colorée. Dans les éléments de la lentille dioptrique, les dispersions qui se produisent à l'entrée et à la sortie du rayon lumineux s'ajoutent parce qu'elles sont dans le même sens, et leur somme va en augmentant à mesure qu'on s'éloigne de l'axe horizontal; aussi les derniers éléments de ces lentilles donnent-ils des colorations très-sensibles, qui constituent une petite perte d'intensité lumineuse. Dans les anneaux catadioptriques au contraire, la réflexion intérieure ne donne aucune dispersion; les réfractions, à l'entrée et à la sortie, en produisent deux qui sont à peu près égales et de sens contraire, de sorte que les rayons émergents n'ont aucune coloration sensible. Il y aurait donc, à ce point de vue, quelque inconvénient à trop augmenter l'amplitude verticale de la lentille dioptrique, et, en tenant compte de tous les éléments de la question, on peut admettre comme limite raisonnable l'angle de 38° ou de 40° au plus.

Ainsi donc, dans les nouveaux appareils qu'on aura à construire, il y aura avantage à adopter les joints inclinés, comme cela a déjà été fait plusieurs fois, et à augmenter la hauteur de la lentille dioptrique de manière à lui faire embrasser un angle total d'au moins 76°, ainsi que cela a été admis pour l'appareil du Pilier, actuellement en construction.

Les intensités précédemment calculées ne s'appliqueront à ces nouveaux appareils qu'avec quelques modifications,

principalement en ce qui concerne la répartition de l'intensité totale entre les trois parties du même appareil. Pour les feux fixes l'intensité totale devrait être un peu augmentée puisque les parties ajoutées à la lentille absorbent moins de lumière que les anneaux qu'elles remplacent; mais la différence peut être négligée. Dans les feux à éclats l'intensité totale pourra également être conservée si les trois lentilles annulaires superposées sont dans la même direction; mais si les éclats sont produits seulement par la lentille annulaire du tambour ou par une lentille à éléments verticaux, l'intensité de cet éclat devra subir une augmentation facile à calculer approximativement.

Nous devons signaler une imperfection que présentent les parties inférieures des anciens appareils depuis qu'on a augmenté le diamètre des becs de lampes. Les profils qui ont servi à construire ces appareils ont été calculés en tenant compte, pour les éléments inférieurs, de la largeur des becs alors en usage. Les nouvelles lampes ayant une et quelquefois deux mèches de plus, et portant en outre un cylindre extérieur pour diriger le courant d'air, il en résulte que le bord du bec masque, pour les éléments inférieurs de l'appareil, une plus grande partie du volume de la flamme, et que la portion de cette flamme qui reste visible pour ces éléments se trouve plus rapprochée de la lentille qu'avec les anciens becs. Il y a donc diminution relative de la quantité de lumière reçue et déviation des rayons lumineux, qui n'émergent plus dans la direction convenable. Pour diminuer le premier de ces inconvénients, on a essayé de construire un bec étagé, c'est-à-dire dans lequel chaque mèche se trouve un peu au-dessous de celle qui la précède du côté du centre. Cette disposition, qui est indiquée en traits ponctués sur la *fig.* 1, Pl. 14, a pour but d'abaisser autant que possible le bord du bec par rapport au centre de la flamme, et de diminuer ainsi l'occultation qu'il produit. Les résultats obtenus ont été satisfaisants, et s'ils sont con-

firmés par une expérience plus prolongée, le système sera appliqué à tous les becs qu'on aura à construire dans l'avenir. Quant à l'erreur qui se produit dans la direction des rayons émergents, on ne peut la corriger qu'en modifiant le profil des nouveaux appareils à construire; il faut calculer ce profil en déterminant pour chaque élément un foyer particulier pris dans la zone la plus brillante de la portion de flamme visible de cet élément, au lieu de le prendre sur l'axe du volume total de la flamme. Ce mode de calcul vient d'être appliqué, en même temps que l'augmentation de hauteur du tambour, au nouvel appareil de 2e ordre que l'on construit pour le phare du Pilier, et qui doit figurer aux expositions de Philadelphie et de Londres.

Intensités des appareils catoptriques. — Il nous reste à parler des appareils catoptriques, c'est-à-dire des réflecteurs paraboliques, que l'on nomme photophores lorsqu'ils ont une seule nappe, ou sidéraux, lorsqu'ils en ont deux. On peut faire pour ces appareils le calcul des quantités de lumière émises par la lampe, et renvoyées par le réflecteur, ainsi que nous l'avons dit pour les lentilles; mais les résultats qu'on obtient sont plus incertains à cause de la grande divergence et de la forte proportion de lumière absorbée par le réflecteur. Nous ne donnerons pas ces calculs et nous nous bornerons à faire connaître les intensités fournies par l'expérience.

Les sidéraux ne sont plus employés que dans quelques fanaux. Ils doivent être successivement remplacés par des appareils dioptriques. L'intensité qu'ils donnent avec le nouveau bec à huile minérale peut être évaluée à 5 becs Carcel.

Les réflecteurs paraboliques à une nappe qui, sont le plus souvent employés dans le service, sont de 3 grandeurs et présentent les dimensions suivantes :

Diamètre de l'ouverture.	0m,85	0m,50	0m,29
Distance focale.	0 ,131	0 ,080	0 ,042
Profondeur.	0 ,345	0 ,195	0 ,125
Angle du rayon extrême avec l'axe.	117°	115°	120°

Ce dernier angle, d'après un calcul de Fresnel, doit être de 117° environ pour réaliser les conditions les plus avantageuses; on voit qu'on s'est peu écarté de cette limite. Il en résulte que tous les réflecteurs employés sont à peu près semblables et que leurs intensités peuvent être reliées entre elles par une formule comprenant seulement la divergence, comme dans le cas des lentilles. Cette formule doit être analogue à celle des lentilles annulaires, c'est-à-dire que le coefficient K, par lequel il faut multiplier l'intensité de la lampe, doit varier en raison inverse d'une certaine puissance du produit des deux divergences.

$$K = A\left(\frac{f}{\sqrt{d}} \cdot \frac{f}{d}\right)^m.$$

On trouve que les valeurs les plus convenables pour représenter les résultats de l'expérience sont $A = 18,5$ $m = 0,8$ de sorte qu'on a

$$K = 18,5\,\frac{f^{1,6}}{d^{1,2}}.$$

Les résultats déduits de cette formule doivent être multipliés par 0,8 comme cela a été fait pour les lentilles, afin de tenir compte des imperfections que peut présenter l'appareil, ainsi que de l'absorption de lumière par la glace de la lanterne. On trouve ainsi qu'un réflecteur de 0m,85, illuminé par une lampe à 2 mèches, donne dans l'axe une intensité de 908 becs; qu'un réflecteur de 0m,50 donne 412 ou 243 becs, suivant que la lampe est à 2 mèches ou à 1 mèche, et qu'un réflecteur de 0m,29 avec lampe à une mèche, produit une intensité de 86 becs. Ces intensités décroissent à droite et à gauche de l'axe jusqu'à une distance angulaire

de 11°, 16°, 10°, 20°, suivant qu'il s'agit de l'un ou l'autre des quatre cas que nous venons de considérer.

Intensités des appareils de feux flottants. — Les feux flottants sont ordinairement munis d'appareils catoptriques. Le calcul de l'intensité qu'ils présentent se déduit des résultats précédents, mais exige quelques explications.

Les feux fixes s'obtiennent en général au moyen de 10 réflecteurs de $0^{m},29$ d'ouverture disposés circulairement dans une lanterne qui entoure le mât. Les lampes de ces réflecteurs sont décentrées intérieurement, c'est-à-dire placées à $0^{m},032$ du sommet au lieu de $0^{m},042$, qui est la distance focale. Cette disposition diminue, sans la faire disparaître, l'inégalité de répartition de la lumière autour de l'horizon; il y a toujours un maximum d'intensité dans l'axe de chaque réflecteur, et un minimum dans les directions intermédiaires; mais comme le ponton n'est jamais complétement immobile, la direction des rayons change plus ou moins d'un instant à l'autre, et l'observateur aperçoit ainsi successivement différentes intensités. Pour calculer la portée d'un pareil feu, il paraît naturel de lui attribuer une intensité moyenne, que l'on peut obtenir en représentant par des courbes les intensités des réflecteurs de degré en degré, et en divisant par 360 la somme des surfaces de ces courbes. Si n est le nombre des réflecteurs, I leur intensité dans l'axe, 2α leur divergence et i l'intensité moyenne du feu, on aura, en supposant une forme parabolique à la courbe des intensités :

$$i = \frac{n}{360} \cdot \frac{2}{3} \cdot 2\alpha \mathrm{I} = \mathrm{I}\,\frac{n\alpha}{270}.$$

Les mouvements de roulis et de tangage qu'éprouve le ponton font, il est vrai, osciller plus ou moins les axes des réflecteurs au-dessus et au-dessous de l'horizon, mais l'observateur n'en reçoit pas moins à chaque oscillation l'impression de l'intensité maximum correspondant à la direc-

tion dans laquelle il se trouve. L'intensité moyenne donnée par la formule précédente, peut donc être admise comme représentant l'intensité du feu flottant.

Ainsi par exemple les feux flottants de Dyck, des Minquiers, de Rochebonne et du Grand-Banc ont 10 réflecteurs de $0^m,29$ avec d'anciennes lampes gros bec à huile de colza. Ces réflecteurs donnent une intensité $I = 50$ becs et une divergence $2\alpha = 52°$; on en conclut une intensité moyenne $i = 48$ becs. Si la lampe est à petit bec, comme pour les feux de Talais, de By et de Snouw, on a $I = 47$ becs, $2\alpha = 46°$, et l'on trouve $i = 39$ becs. Enfin si l'on n'a que 8 réflecteurs avec des becs carcel, comme à Mapon, il vient $I = 44$ becs, $2\alpha = 39°$ et $i = 25$ becs.

Un feu flottant établi à Marseille se compose de 3 appareils dioptriques de $0^m,30$ de diamètre, suspendus autour du mât aux sommets, d'un triangle équilatéral. L'observateur aperçoit toujours deux de ces feux et quelquefois trois; chacun d'eux valant 9 becs, l'intensité moyenne peut être portée à 23 becs.

Pour le feu flottant à éclipses de Ruytingen on a employé un réflecteur de $0^m,37$ d'ouverture, $0^m,185$ de profondeur et $0^m,047$ de distance focale, avec une lampe gros bec placée exactement au foyer. L'intensité dans l'axe est d'environ 115 becs.

Appareils présentant des caractères nouveaux. Feux scintillants. — Quelques appareils lenticulaires ou à réflecteurs ont été récemment imaginés dans le but de produire des caractères nouveaux. Quoique les intensités qu'ils donnent se déduisent sans difficulté des tableaux précédents, nous croyons devoir en dire ici quelques mots, à cause de l'intérêt qu'ils présentent au point de vue de la distinction des feux.

Le nombre des phares s'étant beaucoup multiplié depuis Fresnel, on conçoit qu'il devient de plus en plus difficile de varier leurs caractères et de les faire nettement distin-

guer les uns des autres. Après avoir épuisé les combinaisons de feux fixes simples ou variés par des éclats, et de feux à éclipses plus ou moins espacées, on a eu recours à la coloration de la lumière, qui avait été d'abord écartée comme entraînant une trop grande perte d'intensité. Dans ces derniers temps, des feux à rotation rapide ont pu être employés, grâce aux perfectionnements de l'industrie mécanique, et ont fourni des caractères nouveaux.

On a donné le nom de feux scintillants à ceux dont les éclipses ou les éclats se succèdent rapidement, à 4 ou 5 secondes par exemple d'intervalle. Il y en a de deux espèces. Les uns présentent des éclats dont la durée est moindre que celle des éclipses, ce sont les feux scintillants proprement dits. Les autres ont, au contraire, des éclipses très-courtes par rapport à la durée d'apparition du feu. On a voulu donner une idée de l'effet qu'ils produisent, en leur attribuant le nom de feux clignotants.

L'appareil de Biarritz, composé de 24 panneaux lenticulaires, tourne en 8 minutes et produit des éclats de 20 en 20 secondes; l'intervalle est déjà moindre que dans les anciens feux; mais si l'on imprime à cet appareil un mouvement 5 fois plus rapide, c'est-à-dire si on lui fait faire un tour entier en 1 minute 36 secondes, l'intervalle des éclats ne sera plus que de 4 secondes au lieu de 20, et l'on aura un feu scintillant de 1er ordre. C'est un appareil de ce genre qui fonctionne au phare des Roches-Douvres. On a de même des feux scintillants de 4e ordre à Berck et à la pointe des Poulains de Belle-Ile. Dans ces derniers phares, l'appareil, de 0^{m},50 de diamètre, est formé de 6 panneaux annulaires complets; il tourne en 30 secondes et produit par conséquent des éclats de 5 en 5 secondes.

En combinant ce caractère de feu scintillant avec celui de feu fixe, on obtient encore un moyen très-précieux de diversifier les phares. C'est un caractère mixte de cette espèce que M. l'inspecteur général Reynaud a eu l'idée de

proposer et a fait adopter pour le phare de 3e ordre récemment établi sur le rocher du Four, près des côtes du Finistère. L'appareil, de 1 mètre de diamètre, se compose de deux parties, occupant chacune une moitié de la circonférence. L'une de ces parties est un appareil de feu fixe ordinaire, l'autre comprend 8 panneaux annulaires complets, occupant chacun 1/16 de la circonférence, et destinés à produire 8 éclats. La rotation s'effectuant en une minute, on aperçoit pendant 30 secondes un feu fixe, et pendant les 30 secondes suivantes, 8 éclats se succédant à 3 secondes 3/4 d'intervalle. Les *fig.* 11 et 12, Pl. 14, représentent l'appareil du Four.

Ce caractère est évidemment de nature à fournir de nombreuses variétés, puisqu'on peut modifier le nombre des éclats qui se succèdent et le rapport de leur durée totale à celle du feu fixe, On comprend même qu'il puisse servir à donner aux navigateurs des indications télégraphiques, par exemple sur la hauteur de l'eau dans le chenal.

Les feux scintillants de seconde espèce, nommés feux clignotants, sont obtenus au moyen de feux fixes dont on intercepte périodiquement la lumière pendant un temps très-court. La première application de ce système a été faite au phare de 3e ordre de la pointe de Grave ; il s'agissait d'empêcher ce feu fixe d'être confondu avec les lumières des navires mouillés sur la rade du Verdon. Après un premier essai qui avait pour but d'occulter le feu seulement dans l'angle correspondant à la rade, on a jugé préférable de lui donner la même apparence dans toutes les directions, et l'on a adopté le système qui fonctionne actuellement. Il consiste à faire tourner autour de l'appareil, au moyen d'une machine de rotation, 4 écrans verticaux équidistants, soutenus par une armature mobile. Ces écrans ont toute la hauteur de l'appareil, et leur largeur est de $0^m,22$; ils se trouvent à $0^m,60$ de l'axe et embrassent, par conséquent, un angle de 21° chacun. La rotation se fait en

20 secondes, de sorte que les éclipses se succèdent de 5 en 5 secondes et durent une seconde 1/6.

Le feu qui vient d'être établi sur l'îlot de Tévennec, au milieu du raz de Sein, joue un rôle important dans l'éclairage de ce dangereux passage, et il est indispensable qu'il soit nettement distingué des feux voisins. On a pensé que le meilleur moyen d'y parvenir était de lui donner le caractère de feu clignotant. A cet effet 4 petits écrans verticaux équidistants, ayant la hauteur de l'appareil et occupant chacun un quart d'angle droit, tournent en 16 secondes autour du feu fixe; ils produisent ainsi des occultations qui durent une seconde et se succèdent de 4 en 4 secondes.

Le même système a été appliqué à des feux obtenus au moyen de réflecteurs paraboliques, tels que le feu de Patiras dans la Gironde, et les deux feux de direction de l'embouchure du Trieux. Un seul écran, un peu plus large que le réflecteur, tourne autour d'un axe vertical situé derrière le sommet du paraboloïde, de manière à passer périodiquement devant l'ouverture ; il produit ainsi de courtes occultations qui se succèdent de 4 en 4 secondes.

Ce caractère est très-saisissant et très-facile à reconnaître à première vue, même pour un observateur peu attentif. Il est très-apprécié des marins, et est appelé à rendre des services. On conçoit qu'on peut, comme le précédent, le diversifier beaucoup en faisant succéder un nombre variable d'occultations successives à une période de feu fixe non interrompu. Les *fig.* 13 et 14, Pl. 14, représentent l'un des appareils du Trieux.

Les becs de gaz offrent quelquefois une apparence semblable à celle des feux clignotants, quand, par suite d'un dérangement quelconque, ils s'éteignent ou s'affaiblissent à des intervalles très-rapprochés, pour se rallumer presque immédiatement. Lorsque l'extrémité d'un môle ou un point important dans un port, est signalé par un candélabre portant un bec de gaz, comme cela se présente quel-

quefois, il est nécessaire de caractériser ce bec de manière à le faire distinguer des lumières voisines. L'emploi de vitres coloriées a l'inconvénient d'affaiblir beaucoup la lumière; M. l'inspecteur général Reynaud a pensé qu'on atteindrait le but d'une manière plus satisfaisante, si l'on parvenait à produire, par un procédé certain et agissant d'une manière continue, l'effet accidentel de clignotement dont nous venons de parler. La question est à l'étude, et il est probable qu'on pourra tirer de cette idée des applications intéressantes. Il n'est pas impossible qu'on n'en vienne à introduire le gaz dans quelques appareils de feux de port, et qu'on leur donne l'apparence de feux clignotants, par une interruption périodique de l'arrivée du gaz. On peut remarquer que ce procédé a sur le système des écrans un avantage économique, puisque les obscurités successives sont obtenues par une cessation de la combustion et, par suite, de la dépense.

Étude théorique de la vision des feux scintillants. — L'effet que les feux scintillants produisent sur l'organe de la vue peut donner lieu à une étude intéressante, dans laquelle intervient le phénomène connu sous le nom de persistance des impressions sur la rétine. On pourrait croire au premier abord qu'en faisant tourner assez rapidement un appareil de feu scintillant, l'impression produite par un des éclats, persistant pendant 1/10 de seconde, viendrait se confondre avec le commencement de l'impression due à l'éclat suivant, de sorte qu'on éprouverait la sensation d'un feu fixe beaucoup plus intense que celui qu'on pourrait obtenir de la même lampe avec l'appareil ordinaire. Une proposition dans ce sens avait été faite à l'administration, et a dû être expérimentée au Dépôt des phares. Le résultat annoncé ne fut pas obtenu, et l'on reconnut que l'intensité du feu fixe, dont la rotation rapide des éclats donnait la sensation, avait à peine l'intensité de celui qu'on produit avec un appareil immobile.

Nous allons chercher à expliquer ce qui se passe dans un cas semblable, en étudiant théoriquement la question.

Lorsque l'œil est soumis à l'action d'une source lumineuse d'intensité constante I, la partie de la rétine qu'atteignent les rayons émanés de cette source, éprouve une impression dont l'intensité est proportionnelle à celle de la lumière, et dont la mesure peut être prise égale à I. Si la source lumineuse vient à s'anéantir subitement, l'impression sur la rétine ne cesse pas de suite, mais elle diminue suivant une certaine loi, et devient bientôt assez faible pour ne plus être perceptible. La loi de cette décroissance n'est pas connue, mais il est naturel de supposer qu'elle est analogue à celle que Newton a indiquée pour le refroidissement d'un corps de petites dimensions. On peut donc admettre que la vitesse avec laquelle l'impression diminue est à chaque instant proportionnelle à la grandeur de cette impression, ce qui conduit à l'équation,

$$\frac{di}{dt} = -mi, \quad \text{d'où} \quad i = \mathrm{I}e^{-mt},$$

I étant l'impression au moment où la source lumineuse s'anéantit, c'est-à-dire pour $t = 0$, i l'impression après le temps t, e la base des logarithmes népériens, et m une constante.

Si on appelle j la plus petite impression perceptible, la valeur de θ tirée de l'équation

$$j = \mathrm{I}e^{-m\theta},$$

sera la durée de la sensation lumineuse qui suit la disparition de la lumière. Cette durée variera avec I, mais la variation sera d'autant moindre que m sera plus grand. Au delà de la durée θ, les valeurs de l'impression ne deviennent jamais théoriquement nulles, mais elles sont extrêmement petites et ne produisent aucune sensation.

L'équation précédente donne pour $t = 0$:

$$di = -m\mathrm{I}dt,$$

C'est la perte que l'impression éprouve dans le premier instant dt qui suit l'extinction de la lumière, et comme l'impression que fait éprouver une lumière constante est elle-même uniforme, cette quantité $mIdt$ doit aussi représenter l'impression élémentaire que la lumière I produit pendant chaque instant dt.

Supposons maintenant qu'une lumière I commence subitement à frapper la rétine. L'impression n'atteindra pas de suite sa valeur définitive I, mais elle y parviendra en augmentant à partir de zéro, suivant une certaine loi qu'il est facile de déterminer. Soit en effet i la valeur de l'impression au bout du temps t. Supposons qu'à ce moment la lumière s'anéantisse, l'impression diminuera suivant la loi précédemment admise, et dans l'instant dt qui suivra l'extinction de la lumière, la perte sera $-midt$. Mais si la source lumineuse, au lieu de disparaître, continue à agir, elle ajoutera pendant ce même instant dt une impression élémentaire qui, comme nous l'avons remarqué ci-dessus, aura pour valeur $mIdt$; de sorte que l'accroissement effectif de l'impression sera :

$$di = m(I - i)dt, \quad \text{d'où } i = I(1 - e^{-mt}).$$

La courbe correspondant à cette équation est évidemment symétrique de celle qui représente l'affaiblissement de l'impression. La figure 19, Pl. 15, donne une idée de leur forme ; AB est la courbe d'accroissement de l'impression, BQ ou A'P la valeur I que présente cette impression tant que dure la lumière, A'B' la courbe d'affaiblissement, qui est symétrique, de AB c'est-à-dire telle que si l'on prend $Pp = Aa$, on a $Np = Mb$ ou $Np + Ma = I$. L'équation différentielle ci-dessus est représentée sur la figure par $cM' = M'd - cd$, A'' M B'' étant une courbe égale et parallèle à A'B'.

Si j' représente la différence que peuvent présenter deux impressions lumineuses sans que le sens de la vue cesse de

les juger égales, la lumière I arrivera à produire sensiblement l'impression I au bout du temps θ' tiré de l'équation

$$j' = \mathrm{I}e^{-n.\theta'}.$$

Si $j' = j$ on aura $\theta' = \theta$ pour la même valeur de I.

Nous allons maintenant considérer le cas où la lumière I, au lieu d'être constante, varie avec le temps, suivant une certaine loi. L'impression totale éprouvée à chaque instant par la rétine sera encore facile à calculer. Soient i la valeur de l'impression au bout du temps t, I l'intensité de la source lumineuse au bout du même temps; pendant l'instant suivant dt l'impression perdra, comme nous l'avons dit ci-dessus, $m\,i\,dt$ et elle gagnera $m\,\mathrm{I}\,dt$, de sorte qu'on aura encore

$$di = m(\mathrm{I} - i)dt.$$

Mais ici I est une fonction du temps, au lieu d'être une constante. Cette équation peut s'écrire

$$\frac{di}{dt} + mi = m\mathrm{I}.$$

C'est une équation différentielle linéaire dont l'intégrale est de la forme

$$i = e^{-mt}\left[\int m\mathrm{I}e^{mt}dt + c\right].$$

Supposons que la lumière I soit l'éclat d'un phare dont l'intensité varie suivant une loi parabolique,

$$\mathrm{I} = \mathrm{A}\left(\frac{2t}{\alpha} - \frac{t^2}{\alpha^2}\right),$$

t étant le temps compté à partir de l'origine de l'éclat, 2α la divergence totale exprimée en temps, ou la durée totale de l'éclat, et A l'intensité maximum qui se produit au

bout du temps α. En portant cette valeur de I dans celle de i et effectuant l'intégrale, on trouve

$$i = \frac{A}{\alpha^2 m^2}\left[2(\alpha m + 1)(e^{-mt} + mt - 1) - m^2 t^2\right],$$

pour la valeur de l'impression produite sur l'œil au bout du temps t. La direction de la tangente à la courbe que représente cette équation, est donnée par :

$$\frac{di}{dt} = \frac{2A}{\alpha^2 m}\left[(\alpha m + 1)(1 - e^{-mt}) - mt\right].$$

Pour $t = 0$ la tangente est horizontale ; elle l'est aussi pour la valeur t_1, tirée de l'équation

$$e^{-mt_1} = 1 - \frac{mt_1}{\alpha m + 1}.$$

C'est à ce moment t_1 qu'a lieu l'impression maximum, et la valeur i_1 de ce maximum, qui constitue l'effet produit par l'éclat, s'obtiendrait en portant la valeur de t_1 dans la valeur générale de i. Mais si, au lieu de faire cette substitution, qui est impossible, on se borne à porter dans i la valeur de e^{-mt_1}, on trouve

$$i_1 = A\left(\frac{2t_1}{\alpha} - \frac{t_1^2}{\alpha^2}\right).$$

Ce qui prouve que le point $i_1\, t_1$ appartient à la courbe des intensités de l'éclat. Ce point, qui donne le maximum de l'impression, est donc à l'intersection de la courbe des intensités avec celle des impressions.

Dans les mouvements lents comme ceux de la pratique, e^{-mt_1} peut être négligé ; on a alors

$$t_1 = \alpha + \frac{1}{m} \quad \text{et} \quad i_1 = A\left(1 - \frac{1}{\alpha^2 m^2}\right).$$

Au moment où l'éclat finit, l'impression a dépassé son

maximum, et elle a une valeur qu'on obtient en faisant $t = 2\alpha$

$$i = \frac{2A}{\alpha^2 m^2}\left[(\alpha m + 1)e^{-2m\alpha} + \alpha m - 1\right].$$

A partir de ce moment, la source lumineuse cessant d'agir, l'impression va en s'affaiblissant, suivant la loi que nous avons admise; sa valeur au bout du temps τ, compté à partir de la fin de l'éclat, est :

$$i' = \frac{2A}{\alpha^2 m^2}\left[(\alpha m + 1)e^{-2m\alpha} + \alpha m - 1\right]e^{-m\tau}.$$

On peut remarquer que l'aire totale de la courbe des impressions, y compris la période d'affaiblissement, est égale à l'aire de la courbe des intensités. On a bien en effet

$$\frac{A}{\alpha^2 m^2}\int_0^{2\alpha}\left[2(\alpha m + 1)(e^{-m\tau} + mt - 1) - m^2 t^2\right] dt$$
$$+ \frac{2A}{\alpha^2 m^2}\left[(\alpha m + 1)e^{-2\alpha m} + \alpha m - 1\right]\int_0^{\infty} e^{-m\tau} d\tau = \frac{4}{3}A\alpha.$$

Cette relation n'est vraie que lorsqu'on prend, comme nous venons de le faire, la surface de la courbe des affaiblissements jusqu'à l'infini, au lieu de ne la prendre que jusqu'à la limite θ des impressions perceptibles. Si l'on s'arrêtait à cette dernière limite où finit la sensation, il y aurait entre les deux membres de l'égalité une très-petite différence, qui représenterait la somme des impressions non perçues.

Ce que nous venons de dire s'applique à un éclat isolé. Nous allons maintenant examiner le cas où plusieurs éclats identiques se succèdent à des intervalles égaux 2β.

Nous avons trouvé que l'impression produite par un éclat devient au bout du temps τ après la fin de cet éclat :

$$i' = \frac{2A}{\alpha^2 m^2}\left[(\alpha m + 1)e^{-2\alpha m} + \alpha m - 1\right]e^{-m\tau}.$$

Pour l'éclat qui a précédé celui que nous considérons, l'intervalle écoulé depuis qu'il est fini est $\tau + 2\beta$; l'impression qu'il a produite est devenue

$$i'' = \frac{2A}{\alpha^2 m^2}[(\alpha m + 1)e^{-2\alpha m} + \alpha m - 1]e^{-m(\tau+2\beta)}.$$

En général, en remplaçant τ par $\tau + 2n\beta$, on aura la valeur actuelle de l'impression produite par l'éclat qui précède de n rangs. On a donc pour l'impression totale éprouvée au moment dont nous nous occupons

$$i = i' + i'' + \ldots\ldots = \frac{2A}{\alpha^2 m^2}[(\alpha m + 1)e^{-2m\alpha} + \alpha m - 1]e^{-m\tau}$$

$$\times (1 + e^{-2m\beta} + e^{-4m\beta} + e^{-6m\beta} + \ldots\ldots),$$

$$i = \frac{2A}{\alpha^2 m^2}[(\alpha m + 1)e^{-2m\alpha} + \alpha m - 1]\,\frac{e^{-m\tau}}{1 - e^{-2m\beta}}.$$

Cette formule représente les valeurs de l'impression dans la période comprise entre deux éclats. Pendant le temps qui correspond au passage d'un éclat, il faut ajouter aux valeurs qu'elle donne, celles qui sont dues à l'éclat et qui ont été déjà calculées. On obtient ainsi la série complète des impressions produites par un feu scintillant. Nous donnerons plus loin le calcul de quelques cas particuliers.

Des expériences ont été faites au Dépôt des phares sur les effets produits par les feux scintillants à rotation rapide; elles peuvent servir à vérifier les formules précédentes et à déterminer la valeur de la constante m. L'appareil dont on se servait se composait d'un tambour de 12 lentilles à éléments verticaux, auquel on imprimait un mouvement de rotation au moyen d'une manivelle. Lorsque le mouvement était uniforme, on comptait le nombre de tours de la manivelle et l'on en concluait la durée du passage d'un éclat. Un photomètre permettait de mesurer l'intensité de l'effet lumineux obtenu. En comparant les résultats moyens de ces expériences avec ceux que donnent les formules pré-

cédentes pour différentes hypothèses faites sur la constante m on trouve que la valeur $m = 0,2$ est celle qui donne l'accord le plus satisfaisant.

La formule qui donne les impressions produites par un seul éclat devient alors

$$i = \frac{10(\alpha + 5)}{\alpha^2}\left[e^{-0,2t} + 0,2t - 1\right] - \frac{t^2}{\alpha^2}.$$

En faisant quelques hypothèses sur la durée 2α du passage de l'éclat, on peut calculer les valeurs de l'impression i pour différentes valeurs de t comprises entre o et 2α. Ces valeurs sont indiquées dans la première partie du tableau suivant. La seconde partie est relative à la période de persistance ou d'affaiblissement; les chiffres qui la composent s'obtiennent en multipliant l'impression qui existe au moment où l'éclat finit, par les différentes valeurs de $e^{-0,2t}$, le temps étant compté à partir de la fin de l'éclat.

		DURÉE DE L'ÉCLAT en centièmes de seconde $2\alpha =$						
		64 (1)	32 (2)	16 (3)	8 (4)	4 (5)	2 (6)	1 (7)
Impressions produites pendant la durée de l'éclat, pour....	$\frac{t}{\alpha} =$ 0,0.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0.000
	0,5.	0.560	0.408	0.256	0.145	0,078	0.040	0,021
	1,0.	0,952	0.838	0.629	0,402	0,231	0,124	0,065
	» (maximum).	0,974	0,917	0.780	»	»	»	»
	1,5.	0,857	0,874	0.778	0.569	0,354	0.199	0,106
	» (maximum).	»	»	»	0,585	0.379	0.220	0,121
	2,0.	0,264	0,431	0,552	0,511	0.363	0.219	0,120
Impressions produites pendant la période de persistance, pour.	$t =$ 1 cent^e^ de sec.	0,216	0.353	0,452	0.419	0.297	0.179	0.038
	2.	0.177	0,289	0.370	0,342	0,243	0,147	0.080
	4.	0,119	0,194	0,248	0,229	0.163	0.098	0.054
	8.	0.053	0,087	0.112	0.103	0,073	0.044	0.024
	16.	0.011	0,018	0.023	0,021	0.015	0,009	0,005
	32.	0,001	0,007	0.009	0,009	0,006	»	»

Ces résultats sont représentés graphiquement sur la *fig.* 20, Pl. 15, dans laquelle les abscisses sont les valeurs de $\frac{t}{\alpha}$ à l'échelle de 16 millimètres par unité, et les ordonnées les

valeurs de i à l'échelle de 2 centimètres par unité. Les courbes des impressions pendant le passage de l'éclat portent les mêmes numéros que les colonnes du tableau. La parabole représente les intensités de l'éclat immobile ou passant avec une vitesse très-faible. La courbe n° 1 est relative au cas où l'éclat passe en 64 centièmes de seconde ; elle diffère peu de la courbe des intensités; son ordonnée maximum est 0,974, c'est-à-dire que la rotation fait perdre un peu moins des 3 centièmes de l'éclat. Les courbes suivantes : n° 2, n° 3, s'éloignent de plus en plus de la courbe des intensités; leur maximum s'abaisse, c'est-à-dire que l'impression produite diminue à mesure que la vitesse augmente. Lorsque l'éclat ne met que 4, ou 2, ou 1 centième de seconde à passer devant l'œil, l'impression n'est plus que 0,38, 0,22 ou 0,12 de ce qu'elle serait si l'éclat passait très-lentement.

Les impressions de la période de décroissance qui suit la fin de l'éclat ne sont pas représentées sur la *fig.* 20, pour éviter la confusion. Mais en traçant séparément quelques-unes des courbes qui se trouvent réunies sur cette figure, les n° 3 et 5 par exemple, on se rend plus facilement compte de l'effet complet produit par un éclat. Ces deux courbes sont reproduites sur les *fig.* 21 et 22. On a pris pour le temps une même échelle de 4 millimètres par unité, afin de faire saisir la différence de durée des éclats.

Calculons maintenant les impressions produites par une série d'éclats égaux et équidistants. En prenant $\frac{\beta}{\alpha} = n = 4$, la formule qui donne l'impression au temps τ, compté à partir de la fin d'un éclat, devient :

$$i = \frac{10}{\alpha^2}\left[(\alpha + 5)e^{-0,4\alpha} + \alpha - 5\right] \frac{e^{-0,2\tau}}{1 - e^{-1,6\alpha}}.$$

Cette impression va en s'affaiblissant depuis $\tau = 0$ jusqu'au commencement de l'éclat suivant, c'est-à-dire jusqu'à

$\frac{\tau}{2\alpha} = 3$. A partir de ce moment, il faut y ajouter l'impression produite par le nouvel éclat, dont les valeurs sont calculées dans le tableau précédent. L'impression reprend, à la fin de ce dernier éclat, la valeur qu'elle avait pour $\tau = 0$, et elle passe ensuite périodiquement par les mêmes valeurs. Le tableau suivant contient 3 colonnes pour chacune des hypothèses faites sur 2α; dans la 1re se trouvent les valeurs de i données par la formule précédente pour une période entière, c'est-à-dire depuis $\tau = 0$ jusqu'à $\tau = 8\alpha$; la 2e reproduit les valeurs de l'impression due au passage de l'éclat depuis $\tau = 6\alpha$ jusqu'à $\tau = 8\alpha$; les chiffres de la 3e s'obtiennent en ajoutant ceux des deux premières; ils représentent les impressions totales réellement produites.

	$2\alpha = 16$ (3)			$2\alpha = 4$ (5)			$2\alpha = 1$ (7)		
	Persistance.	Éclat.	Total.	Persistance.	Éclat.	Total.	Persistance.	Éclat.	Total.
Impressions produites par une série d'éclats, pour $\frac{\tau}{\alpha} =$ 0.	0,552	»	0,552	0,379	»	0,379	0,219	»	0,219
2.	0,023	»	0,023	0,163	»	0,163	0,180	»	0,180
4.	0,009	»	0,009	0,076	»	0,076	0,147	»	0,147
6.	»	0,000	0,000	0,031	0,000	0,031	0,120	0,000	0,120
7.	»	0,629	0,629	0,023	0,231	0,254	0,109	0,065	0,174
» (maximum)	»	0,780	0,780	0,017	0,379	0,396	0,100	0,121	0,221
8.	»	0,552	0,552	0,015	0,364	0,379	0,099	0,120	0,219

On voit dans ce tableau que pour l'hypothèse $2\alpha = 16$, l'impression d'un des éclats est devenue nulle ou tout à fait négligeable lorsque commence l'éclat suivant, de sorte que chacun d'eux produit le même effet que s'il était seul, et se trouve séparé du suivant par une éclipse. Les deux hypothèses $2\alpha = 64$ et $2\alpha = 32$, qu'on a jugé inutile de reproduire, conduisent *à fortiori* à la même conséquence. Il en est à peu près de même des cas où $2\alpha = 8$ et $2\alpha = 4$; cependant l'éclipse n'est plus complète, et l'on a l'apparence d'un feu agité d'un tremblement rapide. Dans les cas suivants, l'impression se continue sans interruption, en pré-

sentant un minimum au commencement de chaque éclat et un maximum à la fin; la différence entre ce maximum et ce minimum diminue à mesure que la vitesse augmente; l'effet de tremblement disparaît, et l'on finit par avoir la sensation d'un feu fixe continu. Les *fig.* 23 et 24 représentent les courbes des impressions pour les hypothèses n° 5 et n° 7, c'est-à-dire pour des éclats qui durent 4 centièmes et 1 centième de seconde, et qui se succèdent à 16 et à 4 centièmes de seconde d'intervalle.

Les ondulations que présentent ces deux courbes vont en diminuant de l'une à l'autre, et l'on vérifierait qu'elles continuent à s'affaiblir pour les courbes relatives à des vitesses de plus en plus grandes. A la limite la courbe devient une ligne droite parallèle à l'axe. On peut le voir sur l'équation générale :

$$i = \frac{2A}{\alpha^2 m^2}\left[(\alpha m + 1)e^{-2m\alpha} + \alpha m - 1\right]\frac{e^{-m\tau}}{1 - e^{-2m\beta}}.$$

Supposons en effet que α converge vers 0; la quantité entre parenthèses devient, en développant l'exponentielle,

$$(\alpha m + 1)\left(1 - 2\alpha m + 2\alpha^2 m^2 - \frac{4}{3}\alpha^3 m^3 + \ldots\ldots\right)$$
$$+ \alpha m - 1 = \frac{2}{3}\alpha^3 m^3 - \frac{2}{3}\alpha^4 m^4 + \ldots\ldots$$

De plus, si l'on pose $\beta = n\alpha$, on a :

$$1 - e^{-2m\beta} = 2mn\alpha - 2m^2 n^2 \alpha^2 + \ldots\ldots,$$

alors il vient

$$i = \frac{2A(1 - \alpha m + \ldots\ldots)}{3n(1 - mn\alpha + \ldots\ldots)}e^{-m\tau}.$$

Si maintenant on fait $\alpha = 0$ et si l'on remarque que τ, ne dépassant pas β, converge aussi vers 0, de sorte que $e^{-m\tau}$ doit être remplacé par 1, il vient

$$i = \frac{2A}{3n},$$

D'ailleurs la quantité qu'il faut ajouter à cette valeur pendant le passage d'un éclat converge elle-même vers o comme nous l'avons vu. La courbe devient donc bien une ligne droite parallèle à l'axe et à la hauteur $\frac{2A}{3n}$.

Or nous avons trouvé que si a est l'intensité d'un feu fixe, l'intensité d'un éclat d'amplitude 2α produit par une lentille annulaire occupant un angle φ est donnée par la formule

$$A = \frac{3\varphi}{4\alpha} a.$$

En remplaçant a par i et φ par 2β ou $2n\alpha$, on reconnaît que ces deux formules sont identiques.

Ainsi, lorsqu'on fait tourner avec une rapidité croissante un appareil de feu scintillant, on doit éprouver à la limite la sensation d'un feu fixe équivalent à celui qu'on obtiendrait avec l'appareil immobile de feu fixe.

L'impression maximum que produit un feu scintillant varie, comme nous venons de le voir avec la vitesse de rotation de l'appareil; ces variations sont représentées par la courbe de la *fig.* 25. En prenant pour unité la vitesse qui correspond à $2\alpha = 64$, les autres vitesses sont égales $\frac{64}{2\alpha}$; les impressions maximum sont indiquées dans les tableaux précédents; nous donnons ici leurs valeurs:

$2\alpha =$	∞	64	32	16	8	4	2	1	0
$V =$	0	1	2	4	8	16	32	64	∞
$i =$	1,000	0,974	0,917	0,780	0,585	0,396	0,277	0,221	0,167

La courbe de la *fig.* 25, qui a pour abscisses les vitesses V et pour ordonnées les impressions i, présente une tangente horizontale à son point de départ; elle s'abaisse ensuite rapidement quand on passe par les vitesses 4, 8, 16; puis elle diminue plus lentement en se rapprochant d'une asymptote horizontale située à la hauteur $\frac{2}{3n}$ ou 0,167 pour $n = 4$.

L'expérience confirme en général les résultats que nous venons de déduire des formules. Cependant le feu fixe dont on a la sensation quand la rotation d'un feu scintillant devient très-rapide a toujours une intensité un peu moindre que ne l'indique la théorie; le rapport varie de 8 à 9 dixièmes. Cela peut tenir à des causes physiologiques ou à ce que, pour établir la formule relative à une série d'éclats, on additionne les impressions affaiblies qui proviennent de tous les éclats antérieurs, tandis qu'il ne faudrait probablement tenir compte que de celles qui sont dues à un petit nombre de ces éclats.

Il n'existe pas sur les côtes de feux scintillants tournant avec les vitesses que nous venons de considérer. Il n'y a donc pas lieu de craindre qu'ils soient confondus avec des feux fixes. Mais on peut se demander si l'impression maximum qu'ils produisent n'est pas un peu diminuée par la rotation. Nous prendrons pour exemple le phare de 1[er] ordre des Roches-Douvres pour lequel on a $2\alpha = 180$ et $A = 2889$. On peut appliquer ici la formule approximative

$$i_1 = A\left(1 - \frac{1}{\alpha^2 m^2}\right),$$

et comme $m = 0,2$, on trouve :

$$i_1 = 2889(1 - 0,00308) = 2889 - 9 = 2880.$$

Nous prendrons encore parmi les phares de 4[e] ordre celui de Berck, pour lequel $2\alpha = 94$ et $A = 480$;

$$i_1 = 480(1 - 0,01132) = 480 - 5 = 475.$$

Ainsi la rotation fait perdre au premier 9 becs ou environ un tiers p. 100 de sa valeur; elle diminue l'intensité du second de 1 p. 100 ou de 5 becs. On voit que ces quantités sont assez faibles sans être cependant tout à fait négligeables. On peut dans la plupart des cas de la pratique se dispenser d'en tenir compte.

III. — Transparence nocturne de l'atmosphère et portée des phares.

Absorption de la lumière par l'atmosphère. — L'intensité des rayons émis par une source lumineuse varie dans le vide en raison inverse du carré de la distance; mais lorsque les rayons traversent un milieu matériel, l'intensité subit une autre diminution, due à l'absorption de la lumière. Si l'on appelle a le coefficient de transparence, c'est-à-dire la proportion de lumière que laisse passer l'unité de longueur du milieu, la loi des intensités en fonction de la distance sera exprimée par la formule :

$$y = \mathrm{L}\,\frac{a^x}{x^2}.$$

L étant l'intensité qu'aurait la lumière émise par la source à la distance 1 dans le vide, et y l'intensité de cette lumière à la distance x dans un milieu absorbant.

Pour l'air atmosphérique le coefficient de transparence a varie entre des limites très-étendues. Il résulte d'expériences faites par Bouguer que dans l'air un intervalle horizontal de 189 toises fait perdre la centième partie de la lumière, et que 7469 toises en dissipent le tiers. En prenant pour unité de distance le kilomètre, ces expériences conduisent aux deux équations :

$$a^{0,3684} = 0,99 \quad \text{et} \quad a^{14,5574} = \frac{2}{3},$$

qui donnent l'une et l'autre $a = 0,973$. C'est la valeur du coefficient de transparence de l'air lors des expériences de Bouguer. D'un autre côté l'on comprend que les temps de brouillard font descendre ce coefficient à des valeurs extrêmement faibles ; ainsi, par exemple, dans la soirée du 29 janvier 1861, à Paris, un brouillard rendait une lampe carcel unité invisible à 25 mètres, ce qui suppose $a =$

$(0,62)^{1000}$, c'est-à-dire que le coefficient de transparence était réduit à 0,62 par mètre.

Équations des portées lumineuses. — L'intensité d'une lumière, décroissant suivant la loi que nous venons d'indiquer, présente à une distance suffisante une valeur trop faible pour être aperçue. Il existe en effet pour chaque observateur une limite λ d'intensité lumineuse au-dessous de laquelle l'œil n'est plus affecté. En posant :

$$L\frac{a^x}{x^2} = \lambda,$$

la valeur de x tirée de cette équation fait connaître la portée lumineuse de la lumière L.

Le coefficient λ peut se déterminer par l'expérience. Il suffit de mesurer les distances x, x', x''..., auxquelles on cesse d'apercevoir différentes lumières d'intensités L, L', L''... Pour chacune de ces observations on a, en prenant les logarithmes des deux membres de l'équation précédente,

$$\log\frac{L}{x^2} = (-\log a)x + \log\lambda.$$

Si l'on construit des points ayant pour ordonnées les valeurs de $\log\frac{L}{x^2}$ et pour abscisses celles de x, tous ces points devront se trouver sur une ligne droite dont l'inclinaison donnera $-\log a$, et dont l'ordonnée à l'origine sera $\log\lambda_0$. Le compte rendu des expériences qui ont été faites sur ce sujet au champ de Mars a été donné dans le mémoire de M. l'inspecteur général Reynaud sur l'éclairage des côtes, p. 13 et suivantes. On trouve que le nombre λ varie selon les observateurs, et que, pour une bonne vue comme celle qu'ont en général les marins, on peut adopter $\lambda = 0,01$, le kilomètre étant pris pour unité de longueur. C'est ce coefficient dont on se sert dans les calculs relatifs aux portées des phares.

Le coefficient de transparence peut être rapporté à une unité de longueur quelconque. Si a_k, a_h, a_d, a_m, désignent les coefficients d'une même atmosphère rapportés au kilomètre, à l'hectomètre, au décamètre ou au mètre, on aura les relations :

$$a_k = a_h^{10} = a_d^{100} = a_m^{1000},$$

$$\log a_k = 10 \log a_h = 100 \log a_d = 1000 \log a_m.$$

Ce qui permettra de passer de l'un à l'autre. Il serait impossible de représenter par des coefficients rapportés à la même unité la série des états atmosphériques que l'on a à considérer. Ainsi le brouillard dont nous avons parlé plus haut conduit à une valeur $a_k = (0,62)^{1000}$, dont il serait très-difficile d'écrire la valeur calculée ; mais en prenant le mètre pour unité, le coefficient devient $a_m = 0,62$. Il faudrait donc employer le kilomètre pour les temps clairs, le mètre pour les temps de brouillard, et le décamètre ou l'hectomètre pour les temps intermédiaires ; mais on conçoit qu'il en résulterait quelque confusion et l'on est amené à définir autrement l'état de l'atmosphère. On peut adopter par exemple la portée p de la lumière unité, laquelle est liée aux coefficients a et λ par la relation :

$$a^p = p^2 \lambda.$$

Si on suppose $\lambda = 0,01$, les deux exemples précédents, dans lesquels on a $a_k = 0,973$ et $a_m = 0,62$ donnent pour p les valeurs 8860 mètres et 25 mètres. Ces nombres n'offrent aucun embarras d'écriture et ils ont en outre l'avantage de représenter très-bien à l'esprit l'état de l'atmosphère qu'on veut définir, puisqu'ils indiquent que dans l'une l'observateur verrait une lampe carcel jusqu'à 8860 mètres, et que dans l'autre il cesserait de la voir au delà de 25 mètres. Cette nouvelle manière de définir l'atmosphère a, il est vrai, un inconvénient qui ne se rencontre pas dans le coefficient a, c'est d'être relative à un observateur particu-

lier et de changer pour la même atmosphère lorsque λ varie. On ne peut donc pas laisser de côté la définition plus scientifique que donne le coefficient a; mais dans la pratique il sera souvent plus commode d'employer la portée de la lumière unité.

Toutes les questions relatives à la transparence de l'atmosphère ou à la portée des phares conduisent à la résolution d'équations de la forme:

$$La^d = \lambda d^2,$$

et il est utile d'avoir un moyen pratique de trouver rapidement la valeur de la quantité qui est inconnue. On pourrait y arriver au moyen de tables numériques. Nous verrons plus loin que, lorsqu'on n'a à considérer qu'un petit nombre de valeurs du coefficient a, on peut, pour chacune de ces valeurs, calculer une table donnant la portée d'une lumière au moyen de son intensité, ou réciproquement; mais lorsqu'on a à résoudre l'équation pour des valeurs très-diverses de a, comme nous aurons à le faire dans l'étude des observations sur la visibilité des phares, il faut recourir à un moyen plus général.

L'équation qu'il s'agit de résoudre contient quatre quantités; mais λ peut être supposé constant et égal à 0,01, ou plutôt on peut considérer $\frac{L}{\lambda}$ comme une seule quantité, et si après avoir donné dans les calculs une valeur déterminée à λ, par exemple 0,01, on veut lui donner une autre valeur, comme 0,02, il suffira de multiplier les intensités par un facteur constant, qui serait ici 0,5. L'équation peut donc être considérée comme ne contenant que trois variables $\frac{L}{\lambda}$, a et d; elle représente ainsi une surface. Si l'on porte $\frac{L}{\lambda}$ et a sur deux axes situés dans un plan horizontal, d sera l'ordonnée verticale, et les courbes de niveau de la surface

pour différentes valeurs de d auront une forme hyperbolique $yx^d = d^2$.

Le tracé de ces différentes courbes ne constituerait pas une solution pratique; mais il est facile de transformer la surface dont il s'agit de telle sorte que les courbes de niveau deviennent des droites. En prenant en effet les logarithmes des deux membres on a :

$$\log \frac{L}{\lambda} = (-\log a) d + 2 \log d.$$

Si l'on pose

$$\log \frac{L}{\lambda} = y \quad \text{et} \quad -\log a = x,$$

il vient

$$y = d.x + 2 \log d.$$

On voit que d étant l'ordonnée verticale, cette nouvelle surface est telle que ses courbes de niveau à différentes hauteurs d sont des droites faciles à construire. On conçoit que si ces droites sont tracées sur le plan horizontal, il sera très-simple de trouver la portée d'une lumière L dans une atmosphère dont le coefficient de transparence est a; il suffira en effet de chercher sur le plan horizontal le point qui a $-\log a$ pour abscisse et $\log \frac{L}{\lambda}$ pour ordonnée; la droite de niveau qui passera par ce point aura pour hauteur la portée cherchée d.

Nous avons construit un tableau graphique qui réalise cette combinaison, mais qui n'a pu être reproduit ici. Dans ce tableau les abscisses représentent les valeurs de $-\log a$, et les ordonnées celles de log L. En face de chaque division on a inscrit non la valeur du logarithme, mais celle du nombre correspondant a ou L. Par les différents points de division de chacun des deux axes on a mené des lignes parallèles à l'autre axe, et l'on a formé ainsi un réseau quadrillé. On a ensuite construit les lignes droites inclinées

qui ont pour équation $y = d.x + 2 \log d$, en donnant à la portée d, exprimée en kilomètres, des valeurs variant par degrés, telles que les lignes qui se succèdent soient suffisamment distinctes. L'usage du tableau ainsi composé est facile à comprendre : lorsqu'on demande la portée d'un feu pour une valeur déterminée de la transparence, on cherche l'intensité de ce feu le long de l'axe des ordonnées, puis le coefficient de transparence le long de l'axe des abscisses; on suit les 2 lignes horizontale et verticale qui partent des divisions correspondantes, et le chiffre inscrit sur la ligne inclinée qui passe par le point d'intersection de ces 2 droites indique la portée cherchée. On peut d'une manière analogue trouver l'une quelconque des trois quantités qui entrent dans la question lorsqu'on en connaît deux. Les valeurs du coefficient a inscrites le long de l'axe horizontal s'arrêtent à une certaine limite qui dépend de la largeur du cadre et de l'échelle adoptée; mais le tableau peut sans aucune modification s'appliquer à des valeurs plus petites. En effet l'équation générale

$$\log \frac{L}{\lambda} = (-\log a)\, d + 2 \log d$$

peut s'écrire

$$\log \frac{100 L}{\lambda} = \left(-\frac{1}{10} \log a\right) 10\, d + 2 \log (10\, d).$$

Elle est donc encore vérifiée lorsqu'on multiplie l'intensité par 100, la portée par 10, et $\log a$ par $\frac{1}{10}$. D'après cela on a inscrit sur une seconde ligne horizontale les valeurs de a dont les logarithmes sont égaux à 10 fois ceux des valeurs de a de la première ligne. Lorsque le coefficient de transparence de l'atmosphère se trouvera dans cette seconde ligne, il faudra chercher dans la colonne de gauche le centuple de l'intensité du feu, et la portée à laquelle on arrivera sera alors décuple de la portée cherchée, ce qui revient à

dire qu'elle sera exprimée en hectomètres. On formerait de même une 3e et une 4e ligne de valeurs du coefficient de transparence, et lorsque le coefficient que l'on a à considérer se trouve dans une de ces deux lignes, il faut multiplier l'intensité par 10 000 ou par 1 000 000, et alors la portée que l'on trouve est exprimée en décamètres ou en mètres.

Observations sur la visibilité des phares. — La détermination du coefficient de transparence que présente chaque nuit l'atmosphère constitue un renseignement qui ne serait pas sans intérêt pour les météorologistes, mais qui serait surtout utile dans la pratique du service des phares; car il permettrait de résoudre diverses questions comme, par exemple, celle de l'état moyen ou le plus habituel de la transparence atmosphérique, celle de la portée des phares dans les différentes saisons, et plusieurs autres. Malheureusement l'observation directe de ce coefficient est à peu près impossible. Il faudrait en effet que l'observateur eût chaque nuit une lumière d'intensité connue, et qu'à un moment fixé il pût s'en éloigner assez pour la perdre de vue; la formule $La^d = \lambda d^2$ permettrait alors de déterminer a. On conçoit tous les obstacles que rencontrerait la pratique continue de cette expérience.

Mais il est possible de suppléer jusqu'à un certain point à cette détermination directe du coefficient a, en utilisant les observations que les gardiens de phares enregistrent chaque nuit sur la visibilité des feux voisins. Ces observations consistent simplement à constater trois fois par nuit si tel phare est ou n'est pas visible. Or, connaissant la distance et l'intensité de ce phare, on sait, d'après la formule précédente, quel est l'état de l'atmosphère pour lequel il cesse d'être visible; de sorte que le renseignement consigné sur les registres des gardiens apprend seulement si le coefficient de transparence de l'atmosphère, au moment de l'observation, est supérieur ou inférieur à une certaine valeur. Cette notion isolée n'aurait pas grande importance,

mais en réunissant les observations de plusieurs phares, on peut parvenir à se faire une idée assez précise des différents états de transparence nocturne par lesquels passe l'atmosphère pendant le courant d'une année.

Supposons en effet qu'on réunisse les observations d'un certain nombre d'années et qu'on calcule la proportion de visibilité de chaque phare observé, c'est-à-dire le rapport n entre le nombre de fois que ce phare a été vu et le nombre total d'observations. On saura ainsi, pour le lieu dont on s'occupe, pendant combien de temps, dans le cours d'une année, la transparence nocturne de l'atmosphère a été supérieure à une valeur représentée par le coefficient a ou par la portée correspondante de la lumière unité p. Si maintenant on considère tous les phares situés dans une certaine région, on aura une série de valeurs de n et de p, et en construisant les points qui ont ces valeurs pour coordonnées, on obtiendra une courbe plus ou moins régulière qui pourra conduire à des conséquences intéressantes.

Les observations sur la visibilité des phares, qui se faisaient depuis longtemps sur quelques points, ont été organisées d'une manière régulière en 1859. A partir de 1863, elles ont été étendues à presque tous les phares, dont les gardiens sont obligés de surveiller le feu pendant la nuit. Les moyennes ont été calculées d'abord pour les quatre premières années 1859-62, puis pour deux périodes successives de six années, 1863-68 et 1869-74. Nous ne donnerons pas ici le tableau de ces moyennes, nous nous bornerons à indiquer comment elles ont été utilisées. On a d'abord calculé la distance qui sépare chaque feu observé du lieu d'observation; cette distance est, par exemple, 18 570 mètres de Gravelines à Dunkerque. On connaît l'intensité du feu observé, laquelle est de 90 becs pour Gravelines; on résout alors l'équation

$$90\, a^{18,57} = 0,01\,(18,57)^2,$$

qui donne $a = 0,839$; et comme il est plus commode de définir l'état de l'atmosphère au moyen de la portée p de la lumière unité, on résout l'équation

$$(0,839)^p = 0,01p^2,$$

qui conduit à la valeur $p = 5^{km},950$. Ce nombre signifie que lorsque l'état de l'atmosphère permet d'apercevoir une lumière unité à 5950 mètres, et non plus loin, le feu de Gravelines est visible de Dunkerque et invisible d'un point plus éloigné. Or, le relevé des observations faites à Dunkerque indiquant que le feu de Gravelines a été vu 68 fois sur 100, on en conclut que l'atmosphère a eu, pendant les 68 centièmes de la durée totale des nuits, une transparence égale ou supérieure à celle dans laquelle la lumière unité n'est vue que jusqu'à $5^{km},950$. Les mêmes calculs doivent être faits pour tous les autres feux observés, et comme la résolution des équations précédentes serait très-laborieuse, on peut obtenir approximativement les solutions au moyen du tableau graphique, ou abaque des portées, dont nous avons indiqué la construction et l'usage.

Courbes de visibilité ou de transparence pour les différentes sections du littoral. — Les chiffres qui, pour chaque feu observé, font connaître, comme nous venons de l'indiquer, la transparence limite et la proportion de visibilité, peuvent donner lieu à une représentation graphique. La *fig.* 1, Pl. 16, contient tous les résultats relatifs à la Manche et à l'Océan, de Dunkerque à Biarritz : les valeurs de p sont portées sur l'axe des x à l'échelle de 2 centimètres par kilomètre, et les valeurs de n forment les ordonnées à l'échelle d'un millimètre par unité. On obtient ainsi plus de 200 points disséminés d'une manière assez irrégulière. Si l'atmosphère dans laquelle se font toutes ces observations avait partout une transparence obéissant à la même loi de répartition annuelle, si tous les observateurs

avaient la même vue et mettaient le même soin à enregistrer leurs observations, si les feux observés conservaient une intensité constante, tous les points que nous venons de construire devraient se trouver sur une seule courbe plus ou moins sinueuse; mais on conçoit que la réalité diffère beaucoup de ces hypothèses, et les variations des divers éléments qui interviennent dans l'observation, se manifestent par le déplacement des points au-dessus ou au-dessous de la position qu'ils occuperaient si tout était régulier. On reconnaît cependant à l'inspection de la figure qu'il est possible de tracer une courbe continue occupant une position moyenne. En groupant d'une manière convenable les points tracés sur la figure et calculant le centre de gravité de chaque groupe, on parvient à déterminer d'une manière assez précise le tracé de cette courbe.

Les observations faites dans la Méditerranée sont représentées de la même manière sur la *fig.* 5, dont l'échelle a été réduite à moitié. Le nombre des points est beaucoup plus petit que pour l'Océan; il est néanmoins possible de tracer une courbe moyenne, et l'on reconnaît qu'elle diffère notablement de la précédente, la proportion de visibilité y étant beaucoup plus grande.

On est conduit à supposer qu'il doit aussi y avoir quelques différences dans la transparence de l'atmosphère depuis Dunkerque jusqu'à Biarritz, et en effet, en partageant ce littoral en trois parties, on forme les trois courbes des *fig.* 2, 3 et 4, qui représentent les observations de chacune de ces parties; la première s'étend depuis Dunkerque jusqu'à l'embouchure de la Seine inclusivement, la seconde va jusqu'à Lorient, et la troisième comprend le reste du littoral jusqu'à Biarritz. Ces points de séparation ne sont pas tout à fait arbitraires; ainsi nous avions d'abord voulu étendre la première partie jusque vers Saint-Malo; mais nous avons reconnu qu'au delà de la Seine les observations s'accordaient beaucoup mieux avec celles

de la seconde partie qu'avec celles de la première. Quoique le petit nombre d'observations pour une ou deux de ces figures, laisse un peu d'arbitraire dans le tracé de la courbe moyenne on voit clairement que la proportion de visibilité a une tendance à s'accroître à mesure qu'on descend vers le midi. La courbe de la seconde partie, c'est-à-dire du Cotentin et de la Bretagne, ne diffère pas sensiblement de la courbe générale représentée sur la *fig.* 1 à grande échelle; la courbe du nord de la Manche reste évidemment au-dessous, et celle du sud de l'Océan passe au-dessus, tout en restant bien inférieure à celle de la Méditerranée. Ces quatre courbes, relatives aux quatre parties du littoral français, sont représentées ensemble sur la figure 8, qui permet de les comparer.

La signification qu'il faut attribuer à ces différentes courbes est facile à comprendre. Si l'on place un observateur à l'origine des coordonnées, et une lampe unité en un point quelconque de l'axe des x supposé de grandeur naturelle, l'ordonnée qui correspondra à la lampe indiquera combien de fois sur 100 cette lampe sera vue par l'observateur, et par suite le prolongement de l'ordonnée jusqu'au cadre supérieur marquera combien de fois sur 100 elle ne sera pas aperçue. On reconnaît ainsi sur la grande courbe de la *fig.* 1 qu'une lampe unité placée à 4650 mètres sera vue 9 fois sur 10, à 7150 mètres 5 fois sur 10, et à 8400 mètres 1 fois sur 10.

Si l'on mesure les ordonnées de ces cinq courbes pour différentes valeurs de l'abscisse p, et si l'on prend les différences des ordonnées consécutives, on obtient des nombres qui représentent la proportion du temps pendant lequel la transparence de l'atmosphère se trouve comprise entre deux limites déterminées. Voici ces différences pour les deux courbes relatives à l'Océan et à la Méditerranée.

VALEURS DE *p*.	OCÉAN.	MÉDITERRANÉE.
de 0 à 5	13,0	4,0
de 5 à 6	12,2	2,0
de 6 à 6,5	8,3	2,0
de 6,5 à 7,0	12,0	6,0
de 7,0 à 7,5	17,5	16,0
de 7,5 à 8,0	18,5	50,0
de 8,0 à 8,5	10,5	11,0
de 8,5 à 9,5	8,0	9,0
	100,0	100,0

Ainsi la répartition, dans le cours d'une année, des différents états de transparence nocturne, n'est pas du tout la même dans la Méditerranée que dans l'Océan. Cette transparence reste comprise entre les valeurs $p = 7,5$ et $p = 8,0$ pendant la moitié du temps dans la Méditerranée, et pendant 1/5 ou 1/6 seulement dans l'Océan. Au contraire les états de faible transparence compris entre $p = 0$ et $p = 6,5$ règnent dans l'Océan pendant le tiers du temps, tandis qu'on ne les observe dans la Méditerranée que pendant 1/12 du temps. Ces résultats peuvent être représentés graphiquement (*fig.* 9) en prenant pour abscisses les valeurs moyennes de p relatives à chacun des intervalles ci-dessus, savoir :

$p = \ldots\ldots$ 2,50, 5,50, 6,25, 6,75, 7,25, 7,75, 8,25, 9,00,

et pour ordonnées les proportions correspondantes ramenées à un intervalle constant de $0^{km},5$, savoir :

Pour l'Océan......	1,3	6,1	8,3	12,0	17,5	18,5	10,5	4,0
Pour la Méditerranée.	0,4	1,0	2,0	6,0	16,0	50,0	11,0	4,5

Au lieu de mesurer, comme nous venons de le faire, les ordonnées des courbes de transparence pour certaines valeurs données de l'abscisse, on peut prendre sur les mêmes courbes les abscisses qui correspondent à des ordonnées déterminées. Nous considérerons des fractions de temps variant par douzième, parce qu'elles représenteront

ainsi un certain nombre de mois de 30 nuits moyennes. On trouve que les valeurs de p qui correspondent à

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	douzièmes du temps,
sont	8,48	8,06	7,79	7,58	7,38	7,15	6,88	6,50	5,98	5,35	4,33	0,00	dans l'Océan,
et	8,55	8,13	7,88	7,78	7,71	7,65	7,60	7,54	7,40	7,12	6,55	0,00	dans la Méditerranée.

On aurait de la même manière les chiffres qui concernent séparément chacune des trois sections du littoral de l'Océan. Ces résultats nous seront utiles pour définir et déterminer les portées des phares.

Courbes de visibilité ou de transparence par saison. — Après avoir étudié la transparence nocturne de l'atmosphère au point de vue de la répartition géographique, nous allons nous occuper des variations qu'elle éprouve suivant les saisons. Les proportions de visibilité que nous avons calculées pour l'année entière peuvent être également déterminées pour chacune des quatre saisons météorologiques, le printemps commençant au 1er mars. On obtient ainsi pour l'ensemble de l'Océan, les proportions suivantes :

VALEURS DE p.	PRINTEMPS.	ÉTÉ.	AUTOMNE.	HIVER.	ANNÉE.
2,00	96,5	96,6	96,9	92,0	95,5
5,00	89,6	91,1	89,3	78,0	87,0
6,50	68,8	70,7	71,0	55,5	66,5
7,25	47,9	48,3	51,2	37,4	46,2
7,75	29,6	29,3	32,2	21,7	28,2
8,75	5,7	5,7	8,7	1,9	5,5

La *fig.* 6 représente les courbes des quatre saisons en même temps que celle de l'année entière. La courbe de l'hiver, comme on devait s'y attendre, se trouve notablement au-dessous de la courbe annuelle, et celles des trois autres saisons sont un peu au-dessus. Ces trois dernières présentent entre elles de très-faibles différences. On peut cependant remarquer que l'automne paraît l'emporter un peu sur l'été en transparence.

Il est intéressant de rechercher si cette diminution de transparence pendant l'hiver varie beaucoup le long des côtes françaises. En répétant le même calcul pour chacune des quatre parties du littoral que nous avons déjà considérées, on détermine les ordonnées de la courbe de transparence pour l'hiver dans les quatre sections du littoral, et en prenant les différences entre ces ordonnées et celles de la courbe annuelle pour la même section, on trouve les résultats suivants :

VALEURS DE p.	NORD de la Manche.	BRETAGNE.	SUD de l'Océan.	MÉDITERRANÉE.
2.00	4.2	1,1	5,4	0.0
5.00	10.7	3.8	12.2	0.8
6.50	15,2	5.9	16.2	0.8
7,25	13,4	5.9	12.2	3.4
7,75	9.0	3.0	14,5	8.2
8,75	»	2.3	»	1,6

On voit que les différences entre la courbe de l'hiver et la courbe annuelle varient beaucoup d'une section à l'autre du littoral. Dans la Méditerranée l'écart est moins grand que dans l'Océan, et parmi les trois sections de l'Océan, c'est celle de la Bretagne dans laquelle la courbe de l'hiver s'éloigne le moins de celle de l'année. La section du sud de l'Océan est au contraire celle qui donne les plus grandes différences. La proportion dans laquelle l'hiver diminue la transparence moyenne de l'année varierait à peu près comme les chiffres 4, 2, 5, 1 pour les sections du littoral lorsqu'on passe du nord de la Manche à la Bretagne, au sud de l'Océan et à la Méditerranée. Ce résultat n'est pas tout à fait celui qu'on aurait pu prévoir. La *fig.* 7 représente ces quatre courbes de transparence pendant l'hiver. La courbe de l'été relative à l'Océan, si on la reproduisait sur la même figure, se trouverait bien au-dessous de celle de l'hiver de la Méditerranée.

Utilité des observations de visibilité pour la surveillance du service. — En comparant les proportions de visibilité

qui résultent des observations faites dans chaque phare avec les ordonnées des courbes moyennes de transparence, on peut jusqu'à un certain point reconnaître si les observations sont faites avec soin et si les feux observés sont entretenus par les gardiens de manière à donner toute l'intensité lumineuse qu'ils doivent avoir. Les ordonnées de la courbe moyenne représentent en effet les proportions de visibilité qui auraient dû résulter des observations si toutes les circonstances avaient été celles qu'on a supposées. Les proportions observées en diffèrent assez souvent soit en plus, soit en moins, et lorsque les différences relatives à un même établissement se reproduisent dans le même sens, il est possible d'en reconnaître la cause.

Ainsi, lorsque tous les feux observés d'un même phare sont vus plus souvent que ne l'indique la courbe moyenne, on peut regarder comme probable que les gardiens de ce phare ont une vue plus perçante que celle qui correspond au coefficient $\lambda = 0{,}01$, ou bien qu'ils mettent plus de soin à découvrir les feux lorsqu'ils sont peu visibles; c'est le contraire lorsque l'ensemble des feux observés est vu moins souvent qu'il ne faudrait.

Si l'on réunit les chiffres relatifs à un même feu observé, et si l'on reconnaît que ce feu est généralement vu plus souvent ou moins souvent que ne l'indique la courbe moyenne, on peut en conclure, avec une certaine probabilité, que ce feu présente habituellement une intensité supérieure ou inférieure à celle qu'on a supposée.

On conçoit que si, à la suite de remarques de cette espèce. on parvient à faire faire les observations sur la visibilité avec un peu plus de soin, et surtout avec plus d'uniformité, on arrivera à des résultats assez concordants pour permettre d'exercer un certain contrôle sur la manière dont sont habituellement tenues les flammes qui illuminent les différents phares.

Feux rouges. — Nous ne nous sommes occupé jusqu'ici

que des observations faites sur les feux blancs. Celles qui concernent les feux rouges sont moins nombreuses et donnent des résultats encore moins concordants que ceux qui sont relatifs aux feux, blancs. Cela tient aux nombreuses causes d'erreur que nous avons déjà signalées, aux différences de teinte que présentent les verres employés pour colorer les feux, et surtout à l'action très-variable des brouillards sur une lumière colorée.

La question principale qu'il s'agit de résoudre consiste à calculer la portée lumineuse des feux rouges, ou à déterminer le coefficient de réduction qu'il faut appliquer à l'intensité de la flamme pour tenir compte de l'absorption par le verre coloré.

Des expériences ont été faites au Dépôt des phares pour obtenir directement ce coefficient en mesurant au photomètre une lumière d'abord blanche et ensuite colorée par l'interposition d'un verre rouge. Ces mesures sont difficiles à prendre et présentent un peu d'incertitude, à cause de la différence des teintes dont il s'agit de comparer l'intensité. Les résultats de ces expériences ont été déjà insérés dans le mémoire publié en 1864, par M. l'inspecteur général Reynaud, sur l'éclairage des côtes de France. Les chiffres suivants font connaître les rapports moyens entre la lumière colorée en rouge par un verre et la même lumière blanche; ils varient beaucoup avec la nature du verre.

Verre rouge à l'or donnant une teinte rose carminée.	0,26
Verre rouge à l'argent ordinaire donnant une teinte rouge orangée.	0,19
Verre rouge à l'argent plus foncé.	0,09
Verre rouge au cuivre ordinaire donnant une teinte rouge pourpre.	0,05
Verre rouge au cuivre très-foncé.	0,02

Les mesures ont été prises par le procédé photométrique ordinaire, l'observateur regardant la plaque du photomètre à 0^{m},20 environ de distance. On a constaté à cette occasion

un fait qui est intéressant au point de vue physiologique, mais qui jette de l'incertitude sur les résultats photométriques obtenus. Lorsque l'observateur s'éloigne du photomètre, les deux teintes, l'une rouge et l'autre blanche, dont les intensités avaient été égalisées, ne restent pas équivalentes, la bande rouge l'emportant de plus en plus sur l'autre à mesure que la distance augmente. Si l'observateur égalise de nouveau les teintes en se plaçant à différentes distances du photomètre, les coefficients qu'il obtient pour représenter l'intensité relative de la lumière colorée vont en augmentant. Voici par exemple ce que donnent les verres rouges ordinaires à l'argent et au cuivre

L'observateur étant comme ci-dessus à.	0m,20	du photomètre	0,19	0,05
L'observateur s'éloignant à. . .	2 ,00	—	0,25	0,07
—	4 ,00	—	0,32	0,09
—	6 ,00	—	0,40	0,12
—	8 ,00	—	0,41	0,15

Les expériences photométriques conduisent donc à des résultats très-variables suivant les circonstances dans lesquelles on opère. Le verre rouge désigné ci-dessus comme verre au cuivre ordinaire est celui qu'on emploie le plus habituellement; le coefficient de réduction qui lui est applicable varie de 1/20 à 1/7 environ selon la distance de l'observateur au photomètre. Il est difficile de conclure de là l'effet que produira une lumière rouge vue à grande distance, à 20 ou 30 kilomètres par exemple.

D'autres expériences faites à l'extérieur du Dépôt ont fait reconnaître que si plusieurs lumières, l'une blanche, les autres colorées en rouge et en vert, ont été préparées de manière à donner au photomètre des intensités sensiblement égales, l'effet qu'elles produisent sur un observateur qui s'en éloigne jusqu'à 1 ou 2 kilomètres varie beaucoup de l'une à l'autre; l'intensité du feu rouge paraît supérieure à celle de la lumière blanche; le vert lui paraît au

contraire inférieur, et la différence est d'autant plus sensible qu'on s'éloigne davantage. Ce résultat s'accorde avec le fait bien connu que dans une atmosphère légèrement brumeuse les feux blancs paraissent quelquefois un peu rougeâtres, et on les explique l'un et l'autre en supposant que l'atmosphère absorbe un peu moins les rayons rouges que les autres. Il y a donc lieu de croire que le coefficient par lequel il faut multiplier l'intensité d'une lumière blanche pour tenir compte de sa coloration en rouge doit être, pour une grande distance, supérieur à celui qu'on trouve par le photomètre. Les observations faites dans les phares, sur la visibilité des feux rouges, vont nous donner quelques renseignements sur ce sujet.

Ces observations font connaître, comme pour les feux blancs, combien de fois sur 100 chaque feu rouge a été vu dans le cours d'une année. Supposons qu'un feu rouge, produit par une lumière blanche d'intensité L, soit à la distance d de l'observateur, et qu'il ait été vu n fois sur 100. En consultant la courbe de visibilité des feux blancs pour la région dans laquelle on se trouve, on reconnaît que cette proportion de visibilité n correspond à un état de transparence de l'atmosphère défini par une certaine valeur de p, ou par la valeur correspondante de a tirée de l'équation $a^p = 0{,}01\, p^2$. Il est alors facile de déterminer l'intensité l d'un feu blanc qui, placé à la même distance d, serait vu le même nombre de fois n; il suffit que ce feu blanc ait dans l'atmosphère dont la transparence est a, une portée égale à d; on a donc

$$l = \frac{0{,}01\, d^2}{a^d},$$

le coefficient de réduction cherché est alors égal à $\frac{l}{L}$.

Ainsi, par exemple, l'éclat rouge du phare de Fatouville a été vu 82 fois sur 100 par les observateurs des phares de la Hève. Ce nombre 82 correspond sur la courbe de la *fig.* 2

à $p = 5,25$; la distance de Fatouville à la Hève est de 21 460 mètres; en résolvant les deux équations ci-dessus indiquées ou mieux en se servant du tableau graphique des portées, dont nous avons donné la composition, on trouve 890 becs pour l'intensité d'un feu blanc qui aurait une portée de 21 460 mètres, dans une atmosphère définie par $p = 5,25$; et ce feu blanc placé à la même distance que Fatouville serait vu le même nombre de fois d'après la courbe de visibilité des feux blancs. L'intensité du feu blanc qui à l'époque dont il s'agit produisait l'éclat de Fatouville étant de 3800 becs, le coefficient de réduction est $\frac{890}{3800} = 0,23$.

Les coefficients calculés ainsi pour chacune des observations faites sur les feux rouges présentent de telles différences qu'il est difficile d'en rien conclure de précis. Leur moyenne générale est 0,22, ou environ 1/5, mais on ne doit considérer ce chiffre que comme une indication provisoire. On peut espérer que les observations qui se poursuivent donneront dans l'avenir des résultats plus concordants, surtout si l'on parvient à faire disparaître quelques-unes des causes d'erreur. Mais en attendant, il faut adopter un chiffre pour calculer les portées des feux rouges, et le coefficient 1/5 paraît être le plus convenable.

Quant aux feux verts, nous savons que leur portée est moindre que celle des feux rouges, dont la lumière blanche a la même intensité, et nous avons adopté un coefficient de réduction de 1/8.

Portée des phares. — La plus grande distance à laquelle une lumière peut être aperçue dépend de l'état de transparence de l'atmosphère, puisqu'elle s'obtient en résolvant par rapport à d l'équation

$$La^d = \lambda d^2.$$

Le coefficient λ représente la limite d'intensité lumi-

neuse perceptible par l'observateur à l'unité de distance, dans le vide ; il peut être supposé égal à 0,01. Quant au coefficient de transparence a, nous venons de voir qu'il varie dans le cours d'une année entre des limites très-étendues. La portée d'un phare est donc une expression tout à fait relative, et lorsque, dans les renseignements fournis aux navigateurs, on lui assigne une valeur déterminée, c'est qu'on a fait une convention en choisissant un certain coefficient de transparence pour lequel cette portée est calculée.

Nous appelons portée ordinaire ou moyenne d'un phare la distance à laquelle un observateur verrait ce phare pendant la moitié de la durée totale des nuits d'une année, et le perdrait de vue pendant l'autre moitié. Les courbes que nous avons tracées au moyen des observations faites sur la visibilité des phares nous ont permis de déterminer pendant combien de temps, chaque année, la transparence nocturne de l'atmosphère, reste supérieure à une valeur donnée, ou, inversement, quelle est la limite au-dessus de laquelle reste le coefficient de transparence pendant une fraction déterminée de l'année ; les résultats précédemment indiqués font voir, par exemple, que dans la Manche et l'Océan, la transparence reste pendant la moitié de l'année supérieure à celle que représente le coefficient $p = 7,15$ ou $a = 0,910$, et que cette limite est $p = 7,65$ ou $a = 0,932$ pour la Méditerranée. Si donc nous résolvons l'équation précédente en y remplaçant a par 0,910 ou par 0,932, nous aurons la portée moyenne d'un phare d'intensité L situé dans l'Océan ou dans la Méditerranée.

Cette portée moyenne est la seule qu'on indique dans le livret des phares ; mais il est souvent utile de savoir en outre à quelle distance un feu donné pourrait être vu dans d'autres conditions atmosphériques, par exemple dans les temps clairs ou dans les temps un peu brumeux. Pour donner un sens précis à ces expressions, on peut convenir

qu'elles représentent les états de transparence qui, d'après les renseignements précédents, correspondent à des proportions de visibilité de 1/12 et 11/12. Ainsi dans l'Océan nous appellerons temps clair celui qui est défini par $p = 8,48$ ou $a = 0,962$, et qui est tel que la transparence de l'atmosphère, reste supérieure à cette valeur pendant 1/12 de l'année. De même le temps brumeux sera représenté par $p = 4,33$ ou $a = 0,678$, parce que la transparence de l'atmosphère reste supérieure à ces chiffres pendant 11/12 de l'année, ou leur reste inférieure pendant 1/12. Ces fractions de temps ont été choisies, parce qu'il est facile de les retenir et de s'en faire une idée, en remarquant qu'elles représentent la durée d'un mois ou d'une série de trente nuits moyennes.

A la suite des premières années d'observation sur la visibilité des phares, nous avions tracé approximativement la courbe de transparence pour l'ensemble du littoral, et déterminé les valeurs suivantes des coefficients propres à représenter ces trois états de l'atmosphère.

$p = 4,9$ pour le temps brumeux.
$p = 7,0$ pour le temps ordinaire ou moyen.
$p = 8,6$ pour le temps clair.

C'est au moyen de ces coefficients qu'ont été calculées jusqu'à présent les portées des phares.

Les nouvelles valeurs déterminées au moyen d'un plus grand nombre d'observations varient, comme nous l'avons vu, pour les différentes sections du littoral; nous les reproduisons ici.

Pour le nord de la Manche. . .	$p = 4,08$	6,93	8,48
Pour la Bretagne.	$p = 4,33$	7,15	8,48
Pour le sud de l'Océan.	$p = 4,67$	7,31	8,48
Pour la Méditerranée.	$p = 6,55$	7,65	8,55

Il y aurait quelque inconvénient à adopter des nombres différents pour chacune de ces sections du littoral. Les trois

premières surtout diffèrent trop peu entre elles, et la question ne comporte pas d'ailleurs assez de précision pour qu'il soit nécessaire de les distinguer dans la pratique. Si on adoptait pour ces trois parties qui composent le littoral de l'Océan les coefficients anciennement déterminés, on aurait l'avantage, en conservant les calculs déjà faits, de rendre plus facile la comparaison entre le nouveau système d'éclairage et l'ancien. L'adoption de ces trois coefficients $p = 4{,}9$, $p = 7{,}0$, $p = 8{,}6$ aurait pour conséquence de modifier un peu les fractions du temps que nous avons admises pour définir les trois états de l'atmosphère. Ainsi les portées calculées avec le coefficient $p = 7{,}0$, au lieu de correspondre exactement à une proportion de visibilité 0,50, donneraient 0,48 pour le nord de la Manche, 0,55 pour la Bretagne, 0,61 pour le sud de l'Océan; de sorte qu'à la distance de ces portées les feux seraient vus un peu moins souvent que la moitié du temps dans le nord, un peu plus souvent dans la Bretagne et le sud; mais les différences sont peu importantes, et nous ne voyons pas d'inconvénient à conserver les anciens coefficients pour tout l'Océan.

Il n'en est pas de même pour la Méditerranée, dont les coefficients présentent des différences assez considérables. Nous avions déjà constaté ces différences lors des anciens calculs; mais le peu d'observations dont on disposait à ce moment n'avait pas permis de tracer convenablement la courbe relative à la Méditerranée, et l'on avait adopté partout les mêmes coefficients. Cette courbe est aujourd'hui assez bien déterminée, et il paraît convenable de calculer pour cette partie du littoral des portées spéciales. Le coefficient relatif aux portées moyennes ayant été fixé pour l'Océan à 7 kilomètres au lieu de $7^{km},15$, qui est sa véritable valeur, nous prendrons de même dans la Méditerranée une valeur un peu inférieure, soit $7^{km},50$ au lieu de $7^{km},65$. Quant aux deux autres coefficients, ils peuvent être fixés à $6^{km}.5$ et $8^{km},6$, ce dernier étant le même que dans l'Océan.

Le calcul des trois portées de chacun des feux du littoral peut se faire au moyen du tableau graphique dont nous avons parlé; mais comme ici le nombre des valeurs du coefficient de transparence est très-restreint, il est préférable d'employer des tables numériques calculées d'avance. Ces tables, que nous ne pouvons reproduire ici, s'appliquent aux cinq valeurs $p = 4^{km},9$, $6^{km},5$, $7^{km},0$, $7^{km},5$, $8^{km},6$; elles permettent de déterminer les portées optiques de tous les phares dont l'intensité est connue.

Conclusion. — Les renseignements donnés dans les différentes parties de ce travail permettent de dresser un tableau général des intensités et des portées des phares allumés sur les côtes de France. Dans ce tableau, qui se trouve reproduit plus loin, les phares sont groupés selon l'ordre auquel ils appartiennent et la nature de l'appareil qui les illumine. Pour chaque groupe, le tableau comprend la description sommaire de l'appareil optique, l'intensité lumineuse produite par l'ensemble de cet appareil ou, s'il y a lieu, par chacune de ses parties, et enfin les portées qui correspondent à ces intensités.

La première colonne fait connaître le caractère du feu et les particularités que présente l'appareil quand il n'est pas conforme au type habituel. La colonne suivante est consacrée aux intensités lumineuses. Quelques phares ne produisent qu'une seule intensité, comme les feux fixes, les feux à éclipses complètes, les feux scintillants. D'autres en présentent deux, comme les feux dits à éclipses, dans lesquels un feu fixe persiste entre les éclats; ces deux intensités sont alors inscrites l'une au-dessus de l'autre, la première s'appliquant à l'éclat, et la seconde au feu fixe. D'autres phares présentent trois intensités; ce sont les feux fixes variés par des éclats précédés et suivis de courtes éclipses. Ces trois intensités sont inscrites dans la même colonne, et il est facile de reconnaître que la plus forte s'applique à

l'éclat, celle qui vient ensuite au feu fixe produit par l'appareil ordinaire, et la plus faible au petit feu fixe qui paraît entre les éclats.

Les trois colonnes qui suivent contiennent les portées optiques qui correspondent à chacune des intensités inscrites dans la précédente, et ces portées sont calculées pour les trois états de l'atmosphère précédemment définis.

C'est enfin dans la dernière colonne que se trouvent les noms de tous les phares qui ont le même appareil et auxquels s'appliquent les chiffres d'intensité et de portée inscrits en face.

Paris, le 30 novembre 1875.

ANNEXES.

1°

NOTE SUR LES LAMPES EMPLOYÉES DANS LES PHARES.

Les phares sont actuellement partagés en cinq ordres, suivant le diamètre de l'appareil optique qui leur est affecté. Les phares de

5e 4e 3e 2e 1er ordre

sont ceux dont les appareils ont un diamètre de

$0^m,30$ $0^m,50$ $1^m,00$ $1^m,40$ $1^m,84$.

Le 5e ordre comprend aussi des appareils de $0^m,375$ de diamètre et, par exception, quelques petits appareils de $0^m,25$ et $0^m,20$.

Les dimensions des flammes doivent en général croître avec la distance focale des lentilles au foyer desquelles elles sont placées, afin de maintenir la divergence dans des limites convenables. On a donc affecté à chacun des cinq ordres d'appareils des becs de lampe dont le diamètre extérieur et le nombre de mèches vont

en augmentant depuis le 5e jusqu'au 1er. Les diamètres de ces becs sont de

3 5 7 9 11 centimètres,

et le nombre de mèches circulaires qu'ils contiennent est

1 2 3 4 5.

Les mèches de même rang, à partir du centre, ont dans tous les becs le même diamètre. Chaque mèche est contenue entre deux cylindres de cuivre mince, espacés de 5 millimètres, et elle est séparée de la mèche voisine par un vide annulaire de 5 millimètres de largeur, destiné à l'ascension de l'air froid; l'épaisseur du métal est prise du côté de la mèche. Le diamètre moyen des mèches est ainsi de

105 85 65 45 25 millimètres,

et la somme des longueurs développées des mèches dans chaque bec est de

1021 691 424 220 78 millimètres.

Les becs à une mèche sont placés soit sur des lampes à niveau constant, soit sur des lampes à réservoir inférieur.

Les lampes à niveau constant sont généralement employées pour les réflecteurs photophores ou sidéraux; leur réservoir se place naturellement derrière le photophore ou dans l'angle mort du sidéral. Les lampes pour l'huile minérale dont on se sert aujourd'hui sont les mêmes que les anciennes, si ce n'est que le réservoir est disposé de manière à ce que le niveau de l'huile se maintienne à 4 centimètres environ au-dessous du sommet du bec, au lieu de s'élever à 5 millimètres au-dessous de ce sommet, comme cela avait lieu pour l'huile de colza.

La lampe à réservoir inférieur est fondée sur la propriété que présente l'huile minérale d'être aspirée par l'action capillaire de la mèche plus abondamment et à une plus grande hauteur que l'huile de colza. La première lampe de cette espèce dont on ait fait usage se nommait lampe Maris, du nom du constructeur; elle a été successivement modifiée et améliorée au Dépôt des phares. Celle dont on se sert aujourd'hui est représentée par les *fig.* 5 et 7 de la planche 14. Elle se compose d'un réservoir cylindro-conique disposé de manière à rapprocher autant que possible la masse d'huile du sommet du bec, sans cependant arrêter la marche des rayons lumineux que la flamme envoie vers les anneaux inférieurs de l'appareil optique. Ce réservoir a $0^{m},156$ de

diamètre maximum, et sa contenance est d'environ 1 litre 2 décilitres. Il est porté sur un pied dont la base a un diamètre de $0^m,109$, et dont l'intérieur creux reçoit les gouttes ou les suintements d'huile. La hauteur totale de la lampe jusqu'au disque dont nous parlerons plus loin est de $0^m,240$.

La mèche plonge dans l'huile du réservoir ; elle est montée sur un tube en cuivre auquel elle est fixée par son extrémité inférieure. Une crémaillère et un bouton extérieur placé au-dessous du réservoir servent à élever ou abaisser ce tube et, par suite, la mèche elle-même. Pour faciliter la mise en place de la mèche, il a été ménagé dans son conduit une petite coulisse destinée à guider la crémaillère du porte-mèche.

Le bec est à double courant d'air. Le courant extérieur qui passe entre la cheminée et le bec est divisé en deux par un tube cylindrique fixe, le long duquel glisse la robe de la cheminée. Ce tube descend à travers le réservoir d'huile jusque dans la cavité qui est formée par le pied de la lampe, et dans laquelle l'air extérieur pénètre librement ; il se termine en haut par une partie recourbée intérieurement, de manière à rejeter plus complétement l'air sur l'origine de la flamme. Le courant d'air intérieur passe par le tube creux qu'enveloppe la mèche, et qui descend comme le premier jusque dans le pied de la lampe. Il est surmonté d'un petit disque horizontal qui a, comme le tube, $0^m,020$ de diamètre, et qui est maintenu à 13 millimètres au-dessus du bec par une tige occupant l'axe du tube. Ce disque a pour but de rejeter l'air sur la flamme que produit la mèche, et d'activer la combustion. On a cherché à lui faire remplir plus complétement cet objet en le perçant d'un trou central et en employant une tige creuse, de manière à donner au-dessus du disque un petit courant d'air destiné à compléter la combustion de la partie centrale du haut de la flamme. Dans ce cas la tige du disque a toute la hauteur du tube et se termine en bas par une partie évasée qui facilite l'introduction de l'air et qui a aussi pour but de nettoyer la paroi intérieure du tube chaque fois qu'on enlève ou qu'on remet le disque en place. Cette disposition paraît donner des résultats avantageux et est appliquée dans les lampes qu'on construit maintenant. Une autre modification a été essayée ; elle consiste à placer un deuxième disque, plus étroit que le premier à 10 ou 12 millimètres au-dessus, en le soutenant par une tige creuse percée de trous. Ce système, qui est indiqué à côté de la *fig.* 7, améliore la partie supérieure de la flamme et augmente un peu son intensité ; mais dans les appareils optiques le disque supérieur

produirait un effet nuisible si la flamme venait à baisser, et cette disposition n'est point encore entrée dans la pratique.

Pour les becs à deux mèches, le système des lampes à niveau constant est le plus généralement employé. Cependant lorsqu'il s'agit d'un appareil éclairant tout l'horizon, le réservoir latéral produirait une occultation, et l'on a recours aux lampes à réservoir inférieur, dont on augmente convenablement la capacité. Ces lampes à deux mèches ont en général $0^{m},315$ de hauteur, y compris le disque, et leur base a $0^{m},130$ de diamètre. Le réservoir, dont la forme cylindro-conique est calculée de manière à ne pas masquer les anneaux inférieurs des appareils, a $0^{m},200$ de diamètre et une contenance de 3 litres; le disque placé à l'intérieur de la flamme se trouve à 15 millimètres au-dessus du bec.

Les lampes à réservoir inférieur sans mécanisme, avec bec à une et à deux mèches, peuvent aussi être utilisées avec les réflecteurs. Le réservoir est alors placé derrière le réflecteur et présente des dimensions horizontales aussi grandes que possible par rapport à la hauteur; il communique avec le bec par un tube recourbé muni d'un robinet à trois voies.

Dans ce système de lampes, le niveau s'abaissant à mesure que l'huile est consommée, l'intensité lumineuse de la flamme va un peu en diminuant; mais, d'un autre côté, la flamme est plus tranquille et reste plus régulière qu'avec les lampes à niveau constant; cela tient peut-être à ce que dans ces dernières, le jeu du vase de Mariotte, qui entretient le niveau, produit à chaque instant une petite oscillation qui a pour effet d'agiter un peu la flamme. Les lampes à réservoir inférieur employées dans le service des phares sont fabriquées par M. Luchaire, lampiste à Paris.

Les becs à 3, 4 et 5 mèches à huile minérale sont employés sur les anciennes lampes à mouvement d'horlogerie ou à poids intérieur. La *fig.* 2 représente l'élévation générale d'une lampe de 1er ordre, et la *fig.* 1 la coupe d'un bec à 5 mèches; ceux de 2e et de 3e ordre, qui ont 4 et 3 mèches, offrent des dispositions tout à fait semblables.

Le bec se visse par sa partie inférieure sur le tube de la lampe par lequel le mécanisme d'horlogerie ou le poids du piston fait monter l'huile, qui arrive alors dans le petit réservoir cylindrique de faible hauteur formant la base du bec. Dans les lampes qui brûlaient de l'huile de colza, ce réservoir communiquait directement, par des tubes verticaux, avec les enveloppes annulaires des mèches, et l'huile en surabondance se déversait par-dessus le bec, pour retomber dans le corps de lampe. Le même système ne

peut plus s'appliquer à l'huile minérale, dont le niveau doit rester à 4 ou 5 centimètres au-dessous de la couronne du bec. Aussi lorsque M. Doty, citoyen américain, vint offrir à l'administration le moyen de brûler de l'huile minérale dans les grands phares, il avait adopté une combinaison différente. Un grand réservoir, dans lequel le niveau était maintenu constant par l'appareil ordinaire connu sous le nom de vase de Mariotte, communiquait par un tube avec le bec, qui pouvait être placé à une distance plus ou moins grande, et dont le sommet était établi à la hauteur voulue au-dessus du niveau constant. Cette disposition donnait de bons résultats et convenait pour faire des expériences; mais elle était évidemment inadmissible dans la pratique. M. Doty eut alors l'idée d'adapter aux lampes ordinaires un tube latéral communiquant avec le bec et ouvert par la partie supérieure, au niveau convenable; l'huile en surabondance se déversait par cet orifice et retombait dans le corps de lampe par un autre tube enveloppant le premier. Mais cet appendice latéral, uniquement destiné à maintenir le niveau constant, pouvait être remplacé avec avantage par un orifice quelconque établi dans l'intérieur du bec, au niveau voulu, et donnant issue à l'huile; les premières lampes furent donc établies conformément à cette idée, avec un tube placé dans l'axe du courant d'air intérieur, communiquant par le bas avec l'intérieur du bec, et ouvert par le haut, à 4 ou 5 centimètres en contre-bas du sommet. Ces becs donnèrent de bons résultats dans les expériences du Dépôt, et furent appliqués dans quelques phares. On reconnut qu'ils fonctionnaient convenablement toutes les fois que la marche de la lampe ne laissait rien à désirer; mais que si le mécanisme présentait une légère imperfection ou s'il y avait quelque inégalité dans les valvules des pompes, la vitesse d'ascension de l'huile éprouvait des variations plus ou moins brusques, qui rendaient la flamme difficile à régler. Pour remédier à cet inconvient on a supprimé la communication directe entre le réservoir et le bec, et on a fait passer l'huile par un appendice latéral disposé de manière à maintenir le niveau constant. Cette idée, due à M. le conducteur principal Dénéchaux, faisant fonctions d'ingénieur ordinaire, a fait disparaître les inconvénients que présentait le système primitif.

La pièce latérale destinée à produire le niveau constant comprend trois tubes juxtaposés, ouverts par le haut à un niveau déterminé, et entourés d'une enveloppe qui s'élève un peu au-dessus. Le tube central a son point de départ dans le petit réservoir dont nous avons parlé; l'huile, qui n'a pas d'autre issue, monte

par ce tube et, arrivée au sommet, tombe dans le deuxième tube, qui la conduit au bec, dont elle remplit toute la capacité intérieure jusqu'au niveau qu'elle a dans l'appendice latéral. Comme la quantité d'huile que fournit la lampe dépasse la consommation, l'excédant coule dans le troisième tube, par-dessus un déversoir un peu plus élevé que celui que franchit l'huile pour se rendre au bec. Ce troisième tube conduit la surabondance d'huile jusque dans le grand réservoir de la lampe; il reçoit également par un petit tube latéral les égouts d'huile de la cuvette dont nous avons parlé.

Un disque horizontal de 20 millimètres de diamètre surmonte le tube du courant d'air central, à une hauteur de 17, 19 ou 21 millimètres, suivant l'ordre du bec. Ce disque et la tige qui le supporte sont d'ailleurs disposés de la même manière que dans les lampes à 1 et à 2 mèches. Un cylindre extérieur partage en deux le courant d'air qui s'établit entre le bec et la cheminée, et c'est sur ce cylindre que glisse le porte-cheminée.

Les becs des trois premiers ordres, construits comme nous venons de l'indiquer, donnent de très-bons résultats. Les flammes sont faciles à régler et conservent une forme à peu près constante, sans éprouver d'oscillations sensibles. Les bulles d'air qui peuvent être entraînées par le liquide s'échappent par le tube latéral, et ne peuvent plus nuire à la régularité de la flamme. Si, par une cause quelconque, le mécanisme de la lampe cesse momentanément de fonctionner, il n'y a pas d'extinction immédiate, parce que l'appendice latéral et le bec formant réservoir, fournissent pendant quelques instants l'huile nécessaire à la combustion. Un autre avantage de ce système, c'est que l'huile de surabondance, ne passant plus dans les conduits d'air, n'en diminue plus la section, et que, n'ayant pas été en contact avec les mèches, elle n'a rien perdu de sa qualité et n'altère pas celle de l'huile du réservoir à laquelle elle vient se mêler.

Outre les 5 becs qui viennent d'être indiqués, nous en avons fait construire un plus grand, dont le diamètre extérieur est $0^m,130$, et qui a 6 mèches. Quoiqu'il n'ait pas encore reçu d'application, nous donnerons les résultats qui le concernent afin de compléter la série. Les *fig.* 5 et 6 donnent le plan et la coupe de la partie supérieure de ce bec à 6 mèches. En supposant qu'on enlève la mèche extérieure et qu'on rétablisse autour de la suivante le tube d'air extérieur, ainsi que la cheminée, on aura la figure du bec à 5 mèches, et l'on pourra, par une opération semblable, avoir successivement la représentation des autres becs. La *fig.* 4 fait con

naître la forme des 6 cheminées de cristal destinées à surmonter les différentes lampes.

L'augmentation de diamètre du bec dans chaque ordre d'appareil et l'addition du cylindre extérieur destiné à guider le courant d'air ont, comme nous l'avons dit, l'inconvénient que le bord du bec masque, pour les éléments inférieurs de l'appareil optique, une plus grande portion du volume de la flamme, et que la partie visible de cette flamme, se trouvant plus rapprochée de la lentille, donne des rayons divergents. Ce dernier défaut peut être corrigé par une modification du profil de l'appareil, et quant au premier, on est parvenu à l'atténuer beaucoup en donnant au bec une forme étagée, c'est-à-dire telle que chaque mèche est à quelques millimètres au-dessous de celle qui la précède vers le centre. Cette disposition est représentée en traits ponctués sur la *fig.* 1. Si une expérience prolongée confirme les bons résultats qu'ont donnés les premiers essais, ce système pourra, surtout pour les premiers ordres, s'appliquer aux becs qu'on aura à construire dans l'avenir.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que toutes les lampes, à l'exception de celles qui ont une ou deux mèches avec réservoir inférieur, sont disposées de manière à pouvoir, au besoin, brûler de l'huile de colza, si une cause quelconque obligeait d'en reprendre momentanément l'emploi dans un phare. On arrive à ce résultat en relevant à la hauteur convenable le réservoir des lampes à niveau constant, au moyen d'un cran établi le long de l'enveloppe, et pour les lampes des trois premiers ordres, en fermant l'orifice supérieur de l'appendice latéral ainsi que le tube par lequel l'huile en surabondance descend au réservoir; on oblige ainsi l'huile à monter dans le bec jusqu'au sommet par-dessus lequel elle se déverse.

Lorsque les lampes fonctionnent bien et que les flammes sont en plein effet, les consommations de l'huile de ces six espèces de becs sont de

55 175 370 645 1000 et 1450 grammes par heure,

et les intensités qu'elles donnent sont de

2,2 6,9 14,3 24 36 50 becs.

Ces intensités sont en général des maxima, lorsqu'on maintient les flammes à une hauteur convenable. Si, pour obtenir un accroissement d'intensité, on leur donne un plus grand développement, elles deviennent plus difficiles à diriger. D'ailleurs les appareils optiques illuminés par des flammes très-hautes produisent une

grande divergence verticale et envoient des rayons lumineux en dehors de l'angle utile, de sorte que l'excès de consommation qu'entraîne ce développement de flamme est presque entièrement en pure perte.

Nous devons dire cependant qu'en étudiant avec soin les différents détails de la lampe à réservoir inférieur avec bec à une mèche, on est parvenu à lui faire produire une intensité de $2^{b},5$ au lieu de $2^{b},2$, et il est possible qu'on arrive aussi, par quelques modifications de détails, à augmenter les intensités des becs à plusieurs mèches. C'est ainsi qu'on a déjà cru reconnaître qu'il y aurait avantage à accroître un peu la largeur des espaces annulaires réservés aux courants d'air, aux dépens des espaces occupés par les mèches, et à donner par exemple $5^{mm},5$ aux premiers et $4^{mm},5$ aux seconds, au lieu de les faire à peu près égaux.

Quoi qu'il en soit, les chiffres précédents peuvent être considérés comme donnant, dans l'état actuel, l'intensité de la flamme bien réglée et en plein effet.

Toute cette partie du service de l'éclairage présente, comme on le voit, un caractère de simplicité et d'uniformité. M. le conducteur principal Dénéchaux, qui remplit les fonctions d'ingénieur ordinaire dans le service central, a beaucoup contribué à ce résultat ainsi qu'aux différents perfectionnements qu'ont reçus les lampes depuis l'introduction de l'huile minérale dans les phares.

2°

TABLEAU GÉNÉRAL

DES INTENSITÉS ET DES PORTÉES DES PHARES ALLUMÉS SUR LE LITTORAL DE LA FRANCE.

2° TABLEAU GÉNÉRAL DES INTENSITÉS ET DES PORTÉES DES PHARES

CARACTÈRE DU FEU ET NATURE DE L'APPAREIL.				INTENSITÉ
Appareils dioptriques.				
1er ORDRE.				becs.
Feu fixe.	Miroirs, et lentilles polygonales de 0m.80 de hauteur. .			576
Feu fixe.	Anneaux, et lentilles cylindriques de 1m,00 de hauteur.			878
Feu à éclipses de minute en minute, à 8 lentilles.	Miroirs et	lentilles annulaires de 0m,81 de hauteur. . .		5132 180
	Miroirs et	lentilles annulaires de 1m,00 de hauteur. . .		6247 133
	Anneaux inférieurs fixes, supérieurs déviés.			6199 85
Feu à éclipses de 30 en 30 secondes, à 16 lentilles.	Miroirs et	lentilles annulaires de 0m.80 de hauteur, coupole de 8 miroirs déviés.		2432 42
	Miroirs et	lentilles annulaires de 0m,86 de hauteur. . .		2704 167
	Miroirs et	lentilles annulaires de 1m,00 de hauteur. . .		3083 133
	Anneaux	inférieurs fixes, supérieurs déviés.		3035 85
	Anneaux	inférieurs fixes, supérieurs dans le même axe.		4085 85
Feu à éclipses de 20 en 20 secondes, à 24 lentilles.	12 lentilles rouges à la coupole; le reste 24 lentilles alternativement blanches et rouges.		éclats blancs. éclats rouges.	2211 1/5 3627
	8 lentilles rouges à la coupole; le reste 24 lentilles dont 16 blanches et 8 rouges.		éclats blancs. éclats rouges.	2211 1/5 4386
Feu scintillant de 4 en 4 secondes, à 24 lentilles.	Lentilles annulaires dans toute la hauteur.			2880
Feu fixe varié par des éclats.— Lentilles à 7 éléments verticaux	Miroirs, et lentilles polygonales de 0m,81 de hauteur.— Eclats à 4 minutes d'intervalle.			2988 576 180
	Anneaux.	Éclats blancs à 4 minutes d'intervalle. . .		4599 878 266
	Anneaux.	Éclats rouges à 3 minutes d'intervalle. . . .		1/5 4599 878 266

ALLUMÉS SUR LE LITTORAL DE LA FRANCE.

PORTÉE POUR UN TEMPS			NOMS DES PHARES.
brumeux.	moyen.	clair.	
milles.	milles.	milles.	
9,6	19,9	38,2	Fécamp. — Cap la Hagne.— Héaux de Bréhat. — Stiff. — Bec du Raz de Sein.—Ile de Groix.—Ile d'Yeu.—Chassiron.—Arcachon.
16,7	23,8	38,2	Cap Béarn. — Faraman. — Garouppe. — Punta-Revellata. — Alistro.
10,2	21,3	41,9	La Canche nord. — La Canche sud. — Hourtin nord. — Hourtin sud.
12,7 8,1	27,8 16,0	58,8 28,8	Ile de Bas.
23,0 13,6	34,1 18,9	58,8 28,8	Agde. — Camarat. — Mont Pertusató.
12,9 7,7	28,6 15,0	60,8 26,6	Dunkerque.
12,9 7,2	28,5 13,7	60,7 23,5	Ailly. — Belle-Ile. — Cordouan.
20,8 10,1	30,5 13,5	51,4 19,0	Planier.
11,8 8,0	25,4 15,7	52,1 28,2	Barfleur. — Penmarc'h.
11,9 7,7	25,9 15,0	53,7 26,6	Cap Fréhel.
21,5 12,9	31,6 17,7	53,7 26,6	La Giraglia.
11,9 7,2	25,8 13,7	53,5 23,5	Les Baleines.
12,3 7,2	27,0 13,7	56,5 23,5	Contis.
11,5 9,9	24,7 20,7	50,5 40,2	Biarritz.
11,5 10,2	24,7 21,3	50,5 41,8	Créac'h d'Ouessant.
11,8	25,7	53,0	Les Roches-Douvres.
11,9 9,6 8,1	25,8 19,9 16,0	53,4 38,2 28,8	Ile de Sein.
21,4 16,7 13,6	31,5 23,8 18,9	53,4 38,2 28,8	Porquerolles. — Grande Ile — Sanguinaire. — Porto-Vecchio.
12,5 10,2 8,6	27,4 21,3 17,2	57,7 41,9 31,8	Calais.
10,3 10,2 8,6	21,5 21,3 17,2	42,3 41,9 31,8	Fatouville.

CARACTÈRE DU FEU	ET NATURE DE L'APPAREIL.	INTENSITÉ.
	1er ordre électrique.	becs.
Feu fixe.	Appareil de $0^m,30$ de diamètre. — Machine de l'Alliance à 4 disques.	1500
Feu à éclipses de 30 en 30 secondes.	Tambour de 10 lentilles verticales décentrées, tournant autour d'un appareil à feu fixe de $0^m,30$.	14800
	2me ORDRE.	
Feu à éclipses de 30 en 30 secondes, 12 lentilles annulaires.	Miroirs.	2131 67
	Anneaux inférieurs fixes, supérieurs déviés.	2103 39
Feu fixe varié par des éclats. Lentilles à 9 éléments verticaux.	Miroirs. Tambour polygonal. Lampe à 5 mèches — secteur blanc.	2748 463 96
	Miroirs. Tambour polygonal. Lampe à 5 mèches — secteur rouge.	1/5 2748 1/5 463 1/5 96
	Anneaux. Éclats à 3 minutes d'intervalle.	3152 479 135
	3e ORDRE.	
Feu fixe.	Miroirs, et lentilles polygonales de $0^m,50$ de hauteur.	143
	Anneaux, et tambour de $0^m,68$ de hauteur.	224
Feu fixe rouge.	Anneaux.	1/5 224
Feu fixe varié par des éclats blancs. Lentille à 7 éléments vertic.	Miroirs. Tambour de $0^m,50$ de hauteur. — Éclats à 4 minutes d'intervalle.	841 143 49
	Anneaux. Tambour de $0^m,68$ de hauteur. — Éclats à 3, 2 et 1 minutes d'intervalle.	1411 224 64
Feu fixe blanc varié de 4 en 4 minutes par des éclats rouges.	Lentilles à 7 éléments verticaux de $0^m,68$ de hauteur.	1/5 1411 224 64
Feu fixe blanc varié par des éclats rouges avec éclipses totales.	Lentilles à 7 éléments verticaux dans toute la hauteur de l'appareil. — Tambour de $0^m,68$.	1/5 1885 224
Feu fixe blanc varié de 30 en 30 secondes, par des éclats alternativemt blancs et rouges sans éclipses.	Feu fixe produit par la zone du bas et les $\frac{436}{660}$ du tambour. Éclats produits par le reste du tambour et la coupole, lentilles 1/12 pour le blanc, 1/6 pour le rouge.	988 1/5 1415 124

PORTÉE POUR UN TEMPS			NOMS DES PHARES.
brumeux.	moyen.	clair.	
milles.	milles.	milles.	
12,5	27,3	57,5	La Hève nord. — La Hève sud.
14,2	32,0	69,6	Gris-Nez.
11,4 6,9	24,5 13,0	50,1 21,9	Carteret. — Saint-Mathieu.
20,4 11,2	29,9 15,1	50,1 21,9	Villefranche.
11,4 6,2	24,5 11,4	50,0 18,6	Le Four (Loire-Inférieure).
11,8 9,3 7,3 9,6 7,3 5,4	25,5 19,1 14,0 19,7 13,9 9,6	52,6 36,3 24,3 37,8 24,1 14,7	Le Pilier.
12,0 9,4 7,7	26,0 19,2 15,1	53,9 36,6 26,7	Portzic.
7,8	15,3	27,1	Granville. — Chauveau.
13,0	18,0	27,1	Ile du Levant.
8,4	16,7	30,5	Gravelines. — Honfleur. — Petit-Minou. — Aiguillon. — Haut-banc du nord. — La Coubre.
14,2	19,8	30,5	Cette. — Le Grand-Rouveau.
6,4	11,8	19,3	Sénéquet. — La Banche.
10,1 7,8 6,5	21,2 15,3 12,1	41,5 27,1 20,0	Cayeux. — Ver. — Penfret.
10,8 8,4 6,8	23,0 16,7 12,8	46,2 30,5 21,6	Sept-Iles. — Commerce.
19,2 14,2 11,1	27,9 19,8 15,0	46,2 30,5 21,6	Espiguette.
8,7 8,4 6,8	17,4 16,7 12,8	32,3 30,5 21,6	Iles Chausey. — Ile Vierge.
9,1 8,4	18,4 16,7	34,6 30,5	Les Barges d'Olonne.
10,4 8,7 7,6	21,7 17,4 14,8	42,9 32,3 26,1	Les Triagoz.

CARACTÈRE DU FEU ET NATURE DE L'APPAREIL.		INTENSIT
		becs.
Feu fixe blanc varié de 20 en 20 secondes par des éclats alternativemt rouges et verts sans éclipses.	Feu fixe produit par la zone du bas et les $\frac{49}{60}$ du tambour. — Éclats produits par le reste du tambour et la coupole. — Lentilles annulaires $1/10$.	$1/5$ 796 $1/8$ 796 137
Feu blanc alternativement fixe et scintillant.	La moitié, feu fixe complet durant 30 secondes ; l'autre moitié, 8 lentilles annulaires $1/16$ complètes ; éclats à 3 secondes $3/4$ d'intervalle.	939 224
Feu rouge à éclipses totales.	16 lentilles annulaires $1/16$ complètes. — Éclats de 10 en 10 secondes.	$1/5$ 939
Feu blanc clignotant de 5 en 5 secondes.	Appareil ordinaire avec anneaux. — Éclipses produites par des écrans tournant autour de l'appareil.	224
4e ORDRE.		
Appareils de 0m,50 avec lampe à 3 mèches.		
Feu alternativement rouge et vert pendant des intervalles de 20 secondes.	Feu fixe avec réflecteur catadioptrique, occupant 160°, et dont la lumière est ramenée par des prismes verticaux dans un angle de 45°.	$1/5$ 391 $1/8$ 391
Appareils de 0m,50 avec lampe à 2 mèches.		
Feu fixe blanc.	. . . .	59
Feu fixe rouge.	Appareil ordinaire.	$1/5$ 59
	Appareil ordinaire avec réflecteur catadioptrique. . . .	$1/5$ 81
Feu fixe vert.	. . . .	$1/8$ 59
Feu fixe blanc varié par des éclats rouges de 3 en 3 minutes.	Lentille à 5 éléments verticaux, devant le tambour. . .	$1/5$ 323 59 17
Feu fixe blanc varié par des éclats rouges de 20 en 20 secondes.	Appareil en verre moulé de 0m,46 de diamètre ; la moitié du tambour annulaire $1/12$; le reste fixe.	$1/5$ 128 29
Feu rouge à éclipses de 30 en 30 secondes.	Coupole de feu fixe, le reste annulaire $1/6$.	$1/5$ 380 $1/5$ 12
Feu blanc scintillant de 5 en 5 secondes.	Lentilles annulaires $1/6$ complètes.	473
Feu rouge scintillant de 20 en 20 secondes.	Lentilles annulaires $1/6$ complètes.	$1/5$ 478
Feu clignotant de 4 en 4 secondes.	Éclipses produites par des écrans tournant autour de l'appareil de feu fixe. { Secteur blanc. Secteur rouge.	59 $1/5$ 59
Appareil de 0m,50 avec lampe à 1 mèche.		
Feu fixe blanc.	. . . .	25,6
Feu fixe rouge.	. . . .	$1/5$ 25,6

PORTÉE POUR UN TEMPS			NOMS DES PHARES.
brumeux.	moyen.	clair.	
milles.	milles.	milles.	
7,9	15,6	27,9	Le Grand-Jardin.
7,4	14,2	24,6	
7,8	15,4	26,8	
10,3	21,6	42,5	Le Four (Finistère).
8,4	16,7	30,5	
8,2	16,1	29,1	Les Pierres-Noires.
8,4	16,7	30,5	Grave.
7,1	13,4	22,9	La Palmyre.
6,5	12,1	20,0	
6,7	12,6	21,1	Kermorvan. — Terre-Nègre.
10,9	14,7	21,1	Fort de Bouc. — Lavezzi. — Bastia, citadelle.
4,9	8,4	12,4	Digue de Cherbourg, musoir ouest. — Richard.
7,5	9,5	12,4	Fort de Bouc, secteur rouge.—La Joliette.—Lavezzi, secteur rouge.
5,3	9,2	13,9	Deauville.
4,4	7,3	10,5	Digue de Cherbourg, musoir est.
6,6	8,2	10,5	Lavezzi, secteur vert.
6,8	12,9	21,7	Cap Lévi.
6,7	12,6	21,1	
5,3	9,3	14,1	
11,4	15,0	21,7	Cap Sépet.
10,9	14,7	21,1	
8,2	10,5	14,1	
5,8	10,3	16,2	Walde.
5,9	10,6	16,9	
7,0	13,3	22,7	Ville-ès-Martin.
3,4	5,2	6,7	
9,4	19,2	36,5	Berck. — Poulains.
7,3	14,0	24,3	Cap Couronne.
6,7	12,6	21,1	Tévennec.
4,9	8,4	12,4	
5,8	10,3	16,2	Quillebœuf. — Hoëdic. — La Chaume.
4,1	6,6	9,1	Boulogne, jetée nord-est — Paon à Bréhat.

CARACTÈRE DU FEU ET NATURE DE L'APPAREIL.			INTENSITÉ.
	5e ORDRE.		
	Appareils de 0m,375 *avec lampe à* 2 *mèches.*		becs.
Feu fixe blanc.	....		12
Feu fixe rouge.	Deux appareils de direction composés chacun d'une lentille annulaire occupant 1/2 circonférence et d'un réflecteur catadioptrique.		1/5 2086
	Un appareil de direction comme ci-dessus renforçant un appareil de 0m,50 à 2 mèches.		1/5 1102
	Appareil de feu fixe avec réflecteur catadioptrique occupant 166°, dont la lumière est concentrée dans un angle de 18° avec maximum dans la direction de l'île d'Aix ; feu fixe latéral occupant 26°.		1/5 500 1/5 180 1/5 42
Feu fixe vert.	....		1/8 42
Feu fixe varié par des éclats.	Lentilles verticales de 5 éléments et 0m,40 de hauteur.	Éclats blancs de 3 en 3 minutes.	270 12 4
		Éclats rouges de 2 en 2 minutes.	1/5 270 12 4
	Appareils de 0m,375 *avec lampe à* 1 *mèche.*		
Feu fixe blanc.	....		18,4
Feu fixe blanc.	Lentille annulaire de 0m,375 et lampe de gardien. ...		16
Feu fixe rouge.	....		1/5 18,4
Feu fixe rouge.	Appareil de direction en verre moulé comprenant une lentille annulaire de 1m,00 de diamètre et 0m,20 de distance focale, avec une lentille conique intermédiaire et un réflecteur métallique sphérique.		1/5 274
	Deux appareils semblables dans la même direction. ..		1/5 548
	Lentille annulaire 1/6.		1/5 182
Feu fixe vert.	....		1/8 18,4
Feu fixe blanc varié par des éclats.	Lentille verticale à 5 éléments de 0m,31 de hauteur.	Éclats blancs de 2 en 2 minutes. ..	177,0 18,4 3,4
		Éclats rouges de 3 en 3 minutes. ..	1/5 177,0 18,4 3,4
		Éclats rouges de 30 en 30 secondes. .	1/5 177,0 18,4 3,4

PORTÉE POUR UN TEMPS brumeux.	moyen.	clair.	NOMS DES PHARES.
milles.	milles.	milles.	
6,3	11,7	19,0	Pontusval.
9,2	18,7	35,4	Saint-Georges. — Suzac.
8,4	16,6	30,3	Richard (direction de Talais).
7,4 6,2 4,6	14,2 11,2 7,6	21,6 18,1 11,0	Charente, rive droite amont.
4,1	6,6	9,2	Trouville, jetée est.
8,6 6,3 3,8	17,3 11,6 6,1	31,9 19,0 8,3	Teignouse.
6,6 6,3 3,8	12,3 11,6 6,1	20,5 19,0 8,3	Alpreck.
5,4	9,5	14,5	Dieppe, jetée ouest.—Havre, jetée nord.—Le Hoc.—Oyestreham. église. — Morsalines. — Ile Pelée — Querqueville. — Régneville. — Saint-Malo. — Le Légué Saint-Brieuc. — Binic. — Ile Harbour. — Ile Louët. — Odet amont. — Concarneau aval. — Pont-Aven. — Port-Navalo. — Tréhic. — Pornic. — Port-Breton amont. — Port des Sables. — La Flotte. — La Rochelle amont. Ile d'Aix. — Socoa.
8,3	10,8	14,5	La Nouvelle.— Canal Saint-Louis. — Le Grand-Ribaud.— Cannes. — Citadelle d'Ajaccio. — La Madonetta.
5,2	9,1	13,9	Saint-Antoine de l'Abervrac'h.
3,8	5,9	8,0	Honfleur. — Houle-sous-Cancale. — Ile Vrac'h. — Le Toulinguet. — Audierne aval. — Pont-Aven, secteur rouge. — Étel. — Le Tréhic, secteur rouge.— Les Corbeaux.— Saint-Gilles.— Saint-Martin. — Socoa, secteur rouge.
5,1	6,5	8,0	Hérault, jetée ouest. — Cette, brise-lames. — Le Frioul. — Ile Rousse.
6,6	12,4	20,7	Le Chay à Royan.
7,5	14,4	25,2	Saint-Pierre à Royan.
6,2	11,3	18,3	Pierre-à-l'Œil.
3,3	5,1	6,6	Pont-Aven, secteur vert.
4,6	5,5	6,6	Jetée de Frontignan à Cette.
8,1 5,4 3,7	15,9 9,5 5,8	28,7 14,5 7,8	Ile Noire.
6,1 5,4 3,7	11,2 9,5 5,8	18,0 14,5 7,8	Fort de la Croix à l'île de Groix.
9,7 8,3 5,2	12,8 10,8 6,3	18,0 14,5 7,8	Nice.

CARACTÈRE DU FEU ET NATURE DE L'APPAREIL.		INTENSITÉ.
	Appareils de 0m,30.	
		becs.
Feu fixe blanc.	. . . .	11
Feu fixe blanc.	Deux appareils de 0m,30.	28
Feu fixe rouge.	. . . .	1/5 14
Feu fixe vert.	. . . .	1/8 11
Feu fixe varié par des éclats. Lentille verticale de 0m.31 de hauteur.	Éclats à 3 minutes d'intervalle. . . . . Éclats à 3 et à 2 minutes d'intervalle.	80 11 13
	Appareils de 0m,30 *hissés sur tringles.*	
Feu fixe blanc.	. . . .	8
Feu fixe rouge.	. . . .	1/5 8
Feu fixe rouge de direction.	Demi-lentille annulaire { avec réflecteur catadioptique. sans réflecteur.	1/5 53 1/5 38
Feu fixe vert.	. . . .	1/8 8
Feu fixe blanc.	Appareil de 0m,20. { Lampe ordinaire. . . . . Lampe de gardien.	4 2
Feu fixe rouge.	Appareil de 0m,25 en verre moulé. . . . . Appareil de 0m,20. { Lampe ordinaire. . . . . Lampe de gardien.	1/5 6 1/5 4 1/5 2

PORTÉE POUR UN TEMPS brumeux	moyen.	clair.	NOMS DES PHARES.
milles.	milles.	milles.	
5,1	8,8	13,2	Camiers aval. — Tréport, jetée ouest. — La Roque. — Berville. Trouville, jetée ouest. — Saint-Marcouf. — La Hougue. — Réville. — Barfleur aval. — Barfleur amont. — Dielette aval. — Port-la-Chaine. — Quélern. — Ile Tristan. — Falaise du Raz de Sein.—Loctudy.—Douélan aval.—Douélan amont.—Port-Haliguen.— La Crac'h amont. — Le Palais. — Peulan. — Saint-Nazaire. — Paimbœuf.— Pointe des Dames. — Port-Breton aval.— Grouin-du-Cou.— L'Aiguillon. — Château d'Oleron aval. —Château d'Oleron amont. — Mus-de-Loup. — Royan. — Adour.
7,8	10,0	13,2	Port-Vendres, fort. — Hérault, jetée est. — Fort Brescou. — Faraman, feu accessoire. — Bouc, môle. — Fort Saint-Jean Marseille. — Château d'If. — Cassis. — La Ciotat, môle Bérourard. — Toulon, grosse tour. — Islette.
5,9	10,6	16,7	Boulogne, jetée sud-ouest.
3,5	5,4	7,2	Trouville, jetée ouest, secteur rouge. — Saint-Vaast. — Cherbourg, commerce — Dielette aval, secteur rouge. — Granville. —Mont Saint-Michel.— Portrieux.— Coatmer amont.— Ploumanac'h. — Château du Taureau. — Brest, jetée sud. — Guilvinec aval. — Sauzon. — Adour rouge.
4,9	5,9	7,2	Aigues-Mortes, jetée nord. — Ciotat, môle neuf. — Bandol. — Saint-Tropez. — Islette, secteur rouge.
3,1	4,6	5,9	Brest, jetée ouest.
4,2	5,0	5,9	Darse de Villefranche.
7,2 5,1 2,8	13,8 8,8 4,2	23,8 13,2 5,2	Fécamp, jetée nord. — Cherbourg, fort central.
11,9 7,8 3,8	16,2 10,0 4,5	23,8 13,2 5,2	Marseille, Tête-de-More. — Antibes.
4,5	7,5	10,8	Calais, jetée est. — Saint-Valery en Caux, jetée ouest. — Basse Seine, digue du nord, —Le Mesnil.— Caudebecquet.—La Vaquerie —Vieux-Port — Épi de la Roque.— Carentan amont.— Becquet aval.— Port-Bail aval. — Fier d'Ars aval.— La Pérotine.— Fouras. — Mousset. — Gaët. — Pauillac, débarcadère.
6,7	8,4	10,8	Aigues-Mortes, jetée sud. — Saint-Raphaël. — Calvi, citadelle.
3,0	4,5	5,7	Saint-Valery sur Somme. — Tréport, jetée est. — Fécamp, jetée sud. — La Rille. — Douarnenez.— Port-Louis. — Le Pouliguen. — Méan aval. — Cap-Breton.
4,1	4,8	5,7	Marseille, traverse de la Pinède (2 feux). — Cap Blanc. — Villefranche, la Santé. — Saint-Jean. — Bastia, jetée du Dragon.
4,8	8,1	12,0	Mousset. — Gaët.
4,5	7,4	10,6	Pauillac, débarcadère.
2,6	3,8	4,7	Dunkerque, jetée est. — Orne, jetée est. — Courseulles, jetée est. — Cale de Pauillac.
3,5	4,1	4,7	Bastia, môle.
5,5	6,7	8,3	Port-Vendres, redoute. — Ile Rousse.
3,2	4,8	6,3	Méan amont.
2,8	4,0	5,0	Le Havre, jetée sud.
2,5	3,5	4,2	Saint-Valery en Caux, jetée est.
2,0	2,7	3,1	Barfleur, musoir est. — Barfleur, musoir ouest.

CARACTÈRE DU FEU ET NATURE DE L'APPAREIL.		INTENSIT
Appareils catoptriques.		
Réflecteur de 0m,85 avec lampe à 2 mèches.		becs.
Feu fixe rouge.	. . . .	1/5 968
Réflecteurs de 0m,50 avec lampe à 2 mèches.		
Feu fixe blanc.	Réflecteur renforçant un appareil dioptrique de 0m,30.	426
Feu fixe rouge.	Réflecteur seul.	1/5 412
	Réflecteur renforçant un appareil dioptrique de 0m,30.	1/5 426
	Réflecteur renforçant un appareil de 3e ordre.	1/5 555
Feu fixe vert.	. . . .	1/8 412
Réflecteurs de 0m,50 avec lampe à 1 mèche.		
Feu fixe blanc.	Réflecteur renforçant un appareil dioptrique de 0m,375.	261
Feu fixe vert.	. . . .	1/8 243
Feu clignotant de 4 en 4 secondes par la rotation d'un écran..		243
Réflecteur de 0m,40.		
Feu fixe blanc.	. . . .	161
Réflecteurs de 0m,29.		
Feu fixe blanc.	. . . .	86
Feu fixe blanc.	Réflecteur renforçant un appareil dioptrique de 0m,50 avec lampe à 2 mèches.	145
Feu fixe blanc.	3 réflecteurs dont les axes font des angles de 13°. . . .	120
Feu fixe rouge.	. . . .	1/5 86
Feu fixe rouge.	2 réflecteurs de 0m,29 dans la même direction.	1/5 172
Feu fixe vert.	. . . .	1/8 86
Feu clignotant de 4 en 4 secondes.		86
Sidéraux.		
Feu fixe blanc.	. . . .	5
Feu fixe rouge.	. . . .	1/5 5

PORTÉE POUR UN TEMPS brumeux.	moyen.	clair.	NOMS DES PHARES.
milles.	milles.	milles.	
8,1	16,0	28,9	Rochebonne, Saint-Malo.
9,2	18,8	35,6	La Roque. — Berville.
7,1	13,6	23,3	Sainte-Barbe amont. — Sainte-Barbe aval.
7,2	13,7	23,5	Pointe des Dames.
7,5	14,5	25,3	Chauveau, secteur rouge.
6,6	12,2	20,3	Charente, rive droite aval. — Saint-Nicolas (Gironde).
8,6	17,2	31,7	Port-Navalo, direction de la Teignouse.
6,0	10,8	17,2	La Balluc, Saint-Malo. — Saint-Jean-de-Luz, amont.
8,5	17,0	31,1	Bodic. — Patiras.
8,0	15,6	28,0	L'Heuguenar.
7,2	13,7	23,6	Port-en-Bessin amont. — Isigny amont. — Isigny aval. — Nantouar. — Kerjean. — Colombier. — Kerprigent. — Lanvaon. — Audierne amont. — Concarneau amont. — La Perrière. — Église de Lorient. — Bastion de Port-Louis. — Kerbel. — Croisic aval.
11,8	16,0	23,6	Cap Feno.
7,8	15,3	27,2	Terre-Nègre, direction de la Coubre.
7,6	14,7	25,8	La Lande.
5,3	9,3	14,2	Camiers amont. — Dives supérieur. — Dives inférieur. — Port-en-Bessin amont. à basse mer. — Carentan aval. — Becquet amont. — Dielette amont. — Port-Bail amont. — Rosédo. — Trieux amont. — Saint-Antoine de Tréguier. — Guilvinec amont. — Odet aval. — Concarneau-Lanriec. — Crac'h aval. — Pointe de l'Eve. — Les Sables, potence. — Les Sables, estacade. — La Rochelle aval. — Charente, rive gauche, aval. — Charente, rive gauche, amont. — Saint-Lambert.
8,2	10,6	14,2	Port-Vendres supérieur.
6,1	11,1	17,9	La falaise de Terre-Nègre.
4,8	8,2	12,0	Bas-Sablons, Saint-Malo. — Fier d'Ars amont. — La Palue de l'Abervrac'h. — Saint-Jean-de-Luz aval.
7,2	13,7	23,6	La Croix, Trieux.
4,0	6,5	9,0	Gravelines amont. — Gravelines aval. — Le Crotoy. — Le Hourdel. — Cayeux. — Villequier. — Courval. — Oyestreham, dunes. — Courseulles ouest. — Port-en-Bessin aval. — Grandcamp. — Débarcadère de Lorient. — Croisic amont.
2,6	3,8	4,6	Dunkerque, jetée ouest. — Calais, jetée ouest. — Embouchure de l'Orne, ouest.
3,5	4,0	4,6	La Joliette, passe sud. — Margonajo.

CARACTÈRE DU FEU ET NATURE DE L'APPAREIL.		INTENSITÉ.
		becs
Feu fixe vert.	. . . .	1/8 5
	Réverbères.	
Feu fixe blanc.	Réverbère de 0^m,15 de diamètre avec lampe à mèche plate.	3
Feu fixe rouge.	Réverbère à bougie.	1/5 3
	Feux flottants.	
Feu fixe blanc.	10 photophores de 0^m,29 avec ancienne lampe petit bec.	30
	8 photophores de 0^m,29 avec ancienne lampe bec Carcel.	25
Feu fixe rouge.	10 photophores de 0^m,29 avec ancienne lampe petit bec.	1/5 30
	3 appareils lenticulaires de 0^m,30 de diamètre avec ancienne lampe gros bec.	1/5 23
2 feux fixes blancs.	Sur chaque mât, 10 photophores de 0^m,29 avec ancienne lampe gros bec.	48
Feu rouge à éclipses de 30 en 30 secondes.	8 réflecteurs de 0^m,37 de diamètre avec lampe gros bec.	1/5 115

PORTÉE POUR UN TEMPS			NOMS DES PHARES.
brumeux.	moyen.	clair.	
milles.	milles.	milles.	
3,0	3,4	3,8	Jetée de la citadelle d'Ajaccio.
3,6	5,5	7,4	Dieppe, 3 feux du mât de signaux. — Blaye.
2,9	3,3	3,7	Marseille, 2 feux du passage de l'Abattoir.—Saint-Nicolas, Bastia.
6,2	11,4	18,6	Talais. — By.
5,7	10,2	16,1	Mapon.
4,5	7,4	10,7	Snouw.
5,7	7,0	8,7	Marseille.
6,5	12,0	19,8	Dyck. — Minquiers. — Rochebonne. — Grand-Banc.
5,6	10,0	15,7	Ruytingen.

TABLE DES MATIÈRES.

ANNEXES.

N° 32

NOTE

SUR

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

ET

SUR LES MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES DE M. GRAMME.

Par M. MALÉZIEUX, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

La question de l'éclairage électrique semble de nouveau mise à l'ordre du jour.

On commençait à oublier l'essai fait, il y a neuf ans, à la gare du chemin de fer de l'Est, quand il en a été fait d'autres (*janvier* et *février* 1876) à la gare du chemin de fer du Nord. D'autres encore ont eu lieu durant l'hiver dernier dans plusieurs ateliers industriels et sur un port du canal de la Marne au Rhin, à Sermaize (Marne). Enfin, précisément à la même époque (le 31 janvier), M. Tresca rendait compte à l'Académie des sciences d'expériences effectuées par lui, le 16 octobre et le 4 décembre, dans les ateliers de MM. Sautter et Lemonnier, sur la nouvelle machine magnéto-électrique, la machine de M. Gramme.

Il nous a paru intéressant de rechercher, de grouper, d'interpréter les faits constatés dans ces diverses circonstances. Nous avons en conséquence procédé à une petite enquête; nous allons en faire connaître le résultat. Supposant d'ailleurs que la machine Gramme, bien que présentée à l'Académie dès l'année 1871, n'est pas encore généralement connue, nous commencerons par exposer, et même un peu longuement, en quoi elle consiste.

§ 1.

Production de la lumière électrique.

I. — Machine Gramme.

Un mot sur les premières machines magnéto-électriques. — Tout le monde sait que la publication des découvertes de Faraday sur les courants d'induction (1832) fut bientôt suivie de la construction d'une machine propre à fournir de l'électricité par l'action temporaire des aimants sur les circuits métalliques et le fer doux. Ce fut un constructeur français, M. Pixii, qui établit cette machine pour le cours d'Ampère à la Sorbonne (*). Un aimant permanent en fer à cheval tournait, dans cet appareil, en regard des pôles d'un électro-aimant.

Quatre ans plus tard un fabricant d'instruments de Londres, M. Clarke, appliquant une idée émise par l'Américain Joseph Saxton, intervertit les rôles des deux organes essentiels, rendit fixe l'aimant et fit tourner la double bobine chargée de fil. Cette machine de Clarke est bien connue (**). Elle a servi de type à d'autres instruments de laboratoire. Et ce type se retrouve dans l'une des premières machines qui ont été construites en vue de la production *industrielle* de l'électricité, celle pour laquelle la compagnie *l'Alliance* a pris un brevet le 10 juillet 1858.

La machine de *l'Alliance* est celle qui dessert les phares électriques en France (ceux de la Hève et de Gris-Nez).

(*) Elle figure en ce moment à l'Exposition scientifique de South Kensington, à Londres.

(**) Pour les anciens élèves de Lamé à l'École polytechnique, nous citerons la 2e édition du *Cours imprimé*, 1840, t. III, p. 268.

Elle consiste essentiellement en électro-aimants qui tournent entre des aimants. Seize petites bobines fixées sur la jante d'une roue en bronze forment ce qu'on appelle un *disque;* il y a des machines à quatre et à six disques, ceux-ci étant fixés sur le même arbre de rotation. Les aimants, repliés en fers à cheval, rayonnent dans des plans perpendiculaires au même arbre, et les disques tournent dans les intervalles. — En appliquant la vapeur à cette machine de Clarke transformée et agrandie, on a obtenu, par la succession rapide des étincelles, une lumière équivalente en intensité à deux cents becs Carcel.

La machine Gramme, soumise à l'Académie des sciences le 17 juillet 1871 avec une note que M. Jamin présenta, ne dérive pas du type précédent. Elle en diffère, ce nous semble, par deux traits essentiels : il n'y a plus qu'une seule bobine, tout autrement disposée, et les aimants ont disparu, — conformément aux prévisions de la note primitive (*), — dans les appareils qui se construisent aujourd'hui.

Aspect extérieur. — Qu'on se figure d'abord deux épais montants, deux flasques de fonte supportant, — non pas l'arbre d'un treuil, — mais trois arbres superposés, celui du milieu mobile, les deux autres fixes. On est, au premier coup d'œil, frappé du peu de place que cette machine occupe : 0^{m},80 de longueur hors œuvre, 0^{m},55 de largeur, 0^{m},58 de hauteur, dans le *grand modèle* que M. Tresca a expérimenté d'abord. La plupart des échantillons que nous avons vus, soit à la gare du Nord, soit dans l'atelier où ils se construisent (chez MM. Sautter et Lemonnier), soit enfin dans l'atelier d'essai de M. Gramme, ont des dimensions notablement moindres; ils ne sont guère plus encom-

(*) Voir p. 178 des *Comptes rendus de l'Académie* (1871).

brants que des machines à coudre. On les logerait sous une table.

Bobine centrale.—Avec l'arbre du milieu tourne un électro-aimant; il tourne entre deux pôles magnétiques fixes, un pôle austral en dessus et un pôle boréal en dessous, qui d'ailleurs appartiennent à deux *systèmes* magnétiques différents. (Nous nous en occuperons plus loin.)

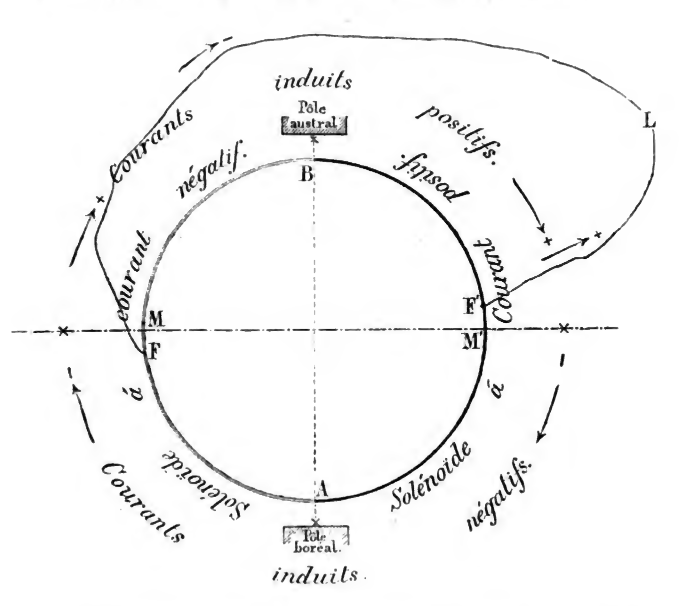
L'électro-aimant mobile n'est ni rectiligne ni recourbé en fer à cheval; il est circulaire ou plutôt annulaire. Son *noyau* est un anneau plat de fer doux ayant, dans le *grand modèle*, $0^m,19$ de diamètre extérieur, 19 millimètres d'épaisseur et $0^m,12$ de largeur. Un fil de cuivre de $2^{mm},6$ de diamètre est enroulé transversalement en hélice autour de cet anneau, fil isolé (bien entendu), enduit à cet effet de coton qu'on a trempé dans du bitume de Judée. Les deux extrémités du fil sont soudées ensemble; il forme donc, comme l'anneau, un circuit continu, sans fin. — Ce fil, d'ailleurs, est enroulé par paquets successifs; il constitue ainsi le long de l'anneau des *bobines partielles*, distinctes, bien que réunies par le fil qui passe finalement d'une bobine à la suivante.

Qu'arrive-t-il quand cet anneau, — qui forme le trait véritablement original de la machine Gramme, — tourne entre les deux pôles magnétiques fixes du haut et du bas?

Distinguons l'anneau proprement dit et les bobines.

L'anneau de fer doux s'aimante par influence : le fluide boréal s'accumule en haut, vers un point B; le fluide austral s'accumule en bas, vers un point A; la région intermédiaire reste dans un état neutre, notamment les points milieux M et M'. On peut donc assimiler ce cercle aimanté à l'ensemble de deux barreaux, BMA à gauche, BM'A à droite, qu'on aurait courbés circulairement et réunis par leurs pôles de même nom en B et en A. On peut en outre considérer l'anneau comme immobile, si l'on suppose pour un moment que les bobines partielles tournent sur lui et sans lui comme

elles tournent en réalité avec lui et grâce à lui. Admettons que ce mouvement de rotation ait lieu de gauche à droite par le bas, suivant MAM'B, et voyons quel sera le sens des courants d'induction dont chaque bobine va être le siége à raison de son déplacement le long du cercle magnétisé. — Nous appellerons *positif* le sens même de la rotation.



L'expérience prouve que les courants sont négatifs dans les bobines qui parcourent le demi-cercle inférieur et positifs dans les autres. Elle prouve que ces courants atteignent leur maximum d'intensité aux abords et tout près des pôles B, A, tandis qu'ils s'annulent aux milieux M, M', extrémités du diamètre horizontal. Pour s'en convaincre, il suffirait de faire courir le long de l'anneau une seule des bobines partielles ou simplement un toron composé de quelques spires

de cuivre, dont les extrémités seraient soudées à celles d'un circuit galvanométrique. — Mais nous ne voulons pas nous en tenir ici à cette simple indication d'un fait brutal.

Pour en trouver la clef, il suffit de se reporter à la théorie d'Ampère sur la constitution des aimants, c'est-à-dire d'assimiler ceux-ci à des solénoïdes, et de se rappeler une des premières propositions de Faraday, à savoir qu'un courant qui s'approche d'un *circuit* ou s'en éloigne y fait naître un autre courant, un courant de sens contraire dans le premier cas et de même sens dans le second. On peut attribuer par hypothèse le sens qu'on voudra au courant moléculaire du solénoïde auquel le barreau curviligne AM'B est assimilable, pourvu qu'on admette le sens contraire pour le solénoïde AMB. Supposons donc le premier positif et le second négatif.

Une bobine qui descend de M vers A, influencée par l'approche du solénoïde AM'B, manifestera un courant de sens contraire, c'est-à-dire négatif. Quand elle aura franchi le point bas A et qu'elle aura commencé à parcourir l'aimant AM'B, on ne pourra plus dire rigoureusement qu'elle continue à s'approcher de cet aimant; cependant elle s'approche toujours du milieu, elle s'approche encore de la partie la plus longue de l'aimant; en d'autres termes, les spires du solénoïde dont elle continue à s'approcher et à subir l'action sont plus nombreuses que celles dont elle a commencé à s'éloigner depuis qu'elle a dépassé le point A. Conséquemment, de A en M', le courant qui existe dans la bobine tant qu'elle se meut, reste négatif; il s'affaiblit d'ailleurs et s'annule en M'. Dès que la bobine monte de M' vers B, elle *s'éloigne* du plus grand nombre des spires du solénoïde AM'B: par suite son courant induit est du même sens que le courant moléculaire de celui-ci, c'est-à-dire positif. Il restera tel dans le quadrant BM par la double raison que la bobine s'éloigne d'un solénoïde positif et s'approche d'un

solénoïde négatif. Enfin le courant redeviendra négatif dans le quadrant MA (*).

En résumé, le courant induit dans chaque bobine sera positif au-dessus de l'horizontale MM' et négatif au-dessous. Par suite les courants partiels des diverses bobines s'ajouteront en quantité dans chacun des demi-cercles. Abandonnés à eux-mêmes, ils se neutraliseraient évidemment aux points neutres M et M'. Mais on peut prévenir ce résultat en dérivant séparément les deux sortes de courants: on dérivera les courants positifs en un point F', un peu en dessus du point M', et les courants négatifs en un point F, un peu en dessous du point M. Qu'en fera-t-on ? On les dirigera dans un circuit extérieur FLF', qui comprend la lampe électrique L; et les deux courants, venant se rejoindre à la brèche, y produiront la succession d'étincelles qui constitue la lumière.

Voici comment s'opèrent les deux dérivations, les saignées du fluide électrique en mouvement:

M. Gramme attache à chaque jonction de deux bobines consécutives une tige méplate de cuivre qu'on appelle ici *conducteur*. Il y en a autant que de bobines, il y en avait 30 dans la première machine expérimentée par M. Tresca. Ces lames de cuivre, pliées à angle droit, viennent s'enchâsser, en dehors de la bobine centrale, dans un tambour de bois calé sur le même axe de rotation et dont la surface cylindrique est affleurée par le dos, bien mis à nu, des lames. (On le passe à l'émeri tous les jours.) C'est là-dessus qu'on fait appuyer deux frotteurs fixes, F et F', petits balais ou

---

(*) Cette analyse est empruntée, au moins pour le fond des idées, à un mémoire de M. J. M. Gaugain sur les courants d'induction, mémoire publié en 1873 dans les *Annales de chimie et de physique* (p. 324), et à un travail de M. Niaudet-Breguet. — Voir aussi ce que dit M. du Moncel des « courants induits d'interversion polaire ». [Exposé des applications de l'électricité, 3e édition, 1873, t. II, p. 154 et 217.]

peignes de cuivre aux dents plates et souples, qui sont toujours en prise avec deux conducteurs au moins, de façon que le courant soit continu. Ces deux frotteurs sont le commencement et la fin du circuit récepteur de l'électricité dynamique.

Électro-aimants fixes. — Passons maintenant à la partie fixe de la machine Gramme.

Au-dessus de la bobine comme au-dessous, s'étend une barre cylindrique de fer de $0^m,48$ de longueur et $0^m,07$ de diamètre, supportée par les montants en fonte. Il y a même dans le grand modèle quatre barres au lieu de deux; mais ce que nous allons dire d'une seule s'applique aux autres. Au milieu est une pièce de fonte qui, entourant le fer comme un bracelet, se termine du côté de la bobine centrale par une surface cylindrique concave, que la bobine rase de très-près dans son mouvement de rotation. On coule même d'une seule pièce, pour plus de facilité dans l'alésage, les deux bracelets du haut et du bas, et l'on coupe ensuite la pièce dans le milieu. De chaque côté du bracelet, et sur $0^m,20$ de longueur, est enroulé un fil de cuivre de $3^{mm},5$ de diamètre, dont le poids n'est pas inférieur à 24 kilog. par barre. On constitue ainsi deux électro-aimants; et l'enroulement du fil est opéré de telle sorte que les deux pôles de même nom se touchent vers le milieu de la barre : ils forment par leur réunion comme un pôle *conséquent.*

Du reste, l'ensemble des bobines qui font partie des électro-aimants fixes constitue un circuit unique, un second circuit extérieur, qui vient, comme le circuit récepteur, se fermer sur les deux frotteurs.

Origine de l'action magnétique. — Voilà, en somme, dans la machine Gramme, bien des moyens de transmission et de développement des courants voltaïques : du fer doux, des

pièces en fer ordinaire ou en fonte, enfin des circuits en fil de cuivre. Mais il n'y a pas là d'aimants. On n'aperçoit d'ailleurs ni éléments de décompositions chimiques, comme ceux de la pile, ni plateau de verre, gâteau de résine ou autres substances sur lesquelles le frottement pourrait faire naître au moins de l'électricité statique. Où donc est le principe d'action?

On paraît être généralement d'accord pour dire qu'il existe dans les barres cylindriques du magnétisme *rémanent* (*residual magnetism*) : quand elles ont été une première fois aimantées, au lieu de se désaimanter subitement et complétement, comme des pièces de fer doux, elles conservent un germe de magnétisme qui se révèle à la première occasion. Voilà l'opinion commune ; mais M. Gramme est un peu incrédule à cet égard.

Ces barres massives (de $0^m,07$ de diamètre) ne sont pas, à la vérité, formées du même fer que l'anneau de la bobine centrale (*) ; mais ce sont des fers après tout, des fers ordinaires du commerce, et M. Gramme les emploie sans s'inquiéter de savoir s'ils sont assez carburés pour posséder la *force* coercitive que suppose la rémanence du magnétisme. Il nous disait encore que ces électro-aimants fonctionnent dès le premier jour, alors qu'ils n'ont encore pu rien garder de ce qu'on n'y a jamais mis. Il reconnaît toutefois que les machines s'améliorent beaucoup par l'usage et que les démontages sont funestes.

Quel est donc enfin le mot de l'énigme pour l'industrieux inventeur que l'instinct, tout au moins, a si heureusement servi?

Il est possible que cet ensemble de pièces de fer et de fonte (les barres cylindriques, les bracelets du milieu, les

(*) Cet anneau est une sorte de couronne tressée d'un fil que la filière n'aurait pu réduire à un aussi petit diamètre, si le métal n'eût présenté toutes les garanties désirables de pureté, de *douceur*, de conductibilité.

montants ou supports) agisse magnétiquement comme du fer mixte, comme de l'acier; M. Gramme est porté à le croire, et c'est même par cette hypothèse qu'il justifie l'épaisseur donnée à ces montants, qu'on pourrait construire plus économiquement en fers légers. Mais la véritable, l'infaillible source de l'aimantation première est, pour lui, dans l'aimant terrestre. Il ne se préoccupe cependant pas de l'orientation de ses machines par rapport au méridien magnétique; *l'inclinaison* de l'aimant terrestre lui suffit à la rigueur.

Dès qu'on admet un germe préexistant du mystérieux fluide, quelle qu'en soit l'origine, — dès qu'on admet un pôle magnétique au-dessus de la bobine centrale et un autre en-dessous, tout s'explique. Ces pôles agissent sur l'anneau de fer doux et sur le fil de la bobine. De ce fil, les courants induits passent dans le circuit qui enserre les barres cylindriques; et celles-ci, aimantées par influence, quel qu'ait été leur état primitif, surexcitent la bobine, en y développant des courants plus intenses dont elles subiront le contre-coup. Par le fait de ces actions réciproques, l'intensité croîtrait indéfiniment s'il ne se produisait en même temps des résistances croissantes, qui finissent par amener un état d'équilibre subordonné à la vitesse de rotation de l'électro-aimant.

II. — LAMPE ÉLECTRIQUE.

Mise en train. — Le circuit récepteur de l'électricité avait un diamètre de $7^{mm},8$ dans la première série d'expériences de M. Tresca, et de $2^{mm},6$ dans la seconde.

Amenés d'abord au contact, les charbons doivent être écartés ensuite. Le meilleur écartement, celui qui donne la lumière la plus intense, ce serait 4 millimètres environ, suivant M. Gramme. On ne le réalise qu'après quelques tâtonnements, durant lesquels la force motrice a besoin

d'être notablement plus considérable qu'elle ne devra l'être en marche normale.

Il y a là une phase curieuse à observer quand on peut disposer librement des appareils. Tant que le circuit qui réunit les frotteurs n'est pas fermé, on fait tourner d'une seule main, avec la plus grande facilité, une de ces petites machines à manivelle qui sont dans l'atelier de M. Gramme : on n'a, en effet, d'autre résistance à vaincre que celles dues au frottement des deux tourillons sur leurs coussinets et des deux frotteurs. Mais aussitôt que notre interlocuteur amenait au contact les deux extrémités du fil (un fil de cuivre de quelques mètres de longueur), la machine s'alourdissait comme si on l'eût enrayée; il fallait roidir le poignet pour surmonter, d'un mouvement plus lent, le surcroît de résistance dû à la production du fluide électrique; et ce surcroît de résistance, subit, instantané, était d'autant plus sensible que la vitesse imprimée à la machine, quand elle tournait à vide, avait été plus considérable.

M. Gramme nous a rendu témoin d'un autre fait, nous allions dire un autre phénomène, plus curieux encore. Envoyant d'une machine aux frotteurs d'une autre l'électricité produite par la première, il transformait la seconde en machine *électro-magnétique*, et l'anneau se mettait à tourner tout seul, entraînant avec lui la manivelle, comme si celle-ci eût été mue dans l'espace par quelque main invisible.

La force motrice due à la vapeur se transformait ainsi en électricité, pour reparaître ensuite, renversée, retournée, sous sa forme primitive. — Bien que la théorie mécanique de la chaleur n'ait plus besoin aujourd'hui de ces démonstrations palpables, grossières, celles-ci causent encore une involontaire satisfaction aux esprits positifs, que l'habitude de la responsabilité a rendus défiants d'eux-mêmes.

Dans l'espèce, la relation intime qui existe (toutes choses égales d'ailleurs) entre l'intensité de la lumière électrique

et l'énergie du moteur appliqué à la machine d'induction, s'accusait à nos yeux d'une façon saisissante.

Charbons polaires. — Les charbons dont on s'est servi jusqu'ici sont presque exclusivement des prismes carrés de 25 à 30 centimètres de longueur et de 7 à 10 millimètres de côté, qu'on obtient en débitant à la scie les dépôts, les croûtes qui se forment contre les parois des cornues à gaz. Ces charbons sont plus ou moins denses, compactes, durs, homogènes enfin : plus ils le sont, plus la lumière est douce et régulière, point capital dont M. Gramme se préoccupe surtout, bien qu'une résistance plus grande au passage des courants entraîne une dépense un peu plus grande de force motrice. Les crayons plus tendres se fendillent, ils donnent une lumière mêlée d'étincelles et d'une intensité plus variable.

Un autre avantage des charbons durs, c'est que la combustion qui résulte de leur incandescence est plus lente. Elle est telle cependant que les deux prismes s'usent moyennement de 6 centimètres à peu près par pôle et par heure. L'intervalle qui les sépare augmenterait d'autant si l'on ne rapprochait les deux porte-crayons au fur et à mesure que la combustion s'opère.

Ce rapprochement s'opéra d'abord à la main : c'était comme une lampe ou une chandelle à moucher sans cesse. Mais on a imaginé des appareils régulateurs qui fonctionnent automatiquement.

M. Foucault en a inventé un dès l'année 1849 (*). M. Serrin en a inventé un autre en 1860, et celui-ci est le plus généralement employé (*). On sait que dans cet

---

(*) On peut en lire la description dans le volume des Notices rédigées pour l'Exposition universelle de 1867 (p. 293). Il serait hors de propos de nous y arrêter ici. D'ailleurs, le cas échéant, nous passerions la plume au neveu de l'illustre physicien, à notre collaborateur M. C. M. Gariel, secrétaire-adjoint de la Commission des *Annales*.

ingénieux appareil les deux porte-crayons, solidaires l'un de l'autre, tendent à se rapprocher constamment, celui du haut obéissant à son poids, tandis que celui du bas est soulevé par un ressort à boudin; mais que, d'autre part, l'action de ce ressort est subordonnée au plus ou moins de tension électrique d'un petit électro-aimant logé dans le pied de la lampe et compris dans le circuit général : quand l'écart entre les charbons augmente, le courant s'affaiblit naturellement, l'électro-aimant perd de sa puissance, le porte-crayon inférieur *se désembraye*, et dès lors s'élève jusqu'à ce que le courant ait repris assez d'intensité pour l'immobiliser de nouveau.

En fait, tous les régulateurs laissent à désirer et exigent une certaine surveillance.

Pour se rendre compte du phénomène de la combustion, il faut l'observer de très-près. Nous avons pu le faire récemment en examinant un appareil optique construit pour la marine et qui consiste en une lentille annulaire de $0^m,60$ de diamètre. Par une disposition analogue à celle indiquée dans le mémoire précité de M. l'inspecteur général Reynaud (p. 148), une petite lentille renvoyait sur un écran, au fond d'un tube latéral, une image agrandie et renversée du foyer lumineux. On assiste ainsi, sans souffrance pour les yeux, à un incendie en miniature. On voit les charbons se désagréger violemment, celui du haut surtout, dont se détachent, comme des projectiles, des globules incandescents qui se précipitent vers le crayon inférieur. Quant à l'arc voltaïque, il se balance d'un pôle à l'autre en une flamme violacée qu'on croirait déviée, déjetée par le vent.

(*) Il l'est notamment aux deux phares de la Hève. La description en a été donnée par M. l'inspecteur général Reynaud, dans son grand mémoire sur l'éclairage et le balisage des côtes de France (Paris, Imp. nat., 1864, p. 143), et par M. l'ingénieur Quinette de Rochemont, dans une note insérée aux *Annales* (1870, 1er sem., p. 324).

De quelque façon qu'on ait taillé les crayons d'abord, le charbon supérieur se tronque généralement (du moins avec les courants tels que les produit la machine Gramme) suivant une surface à peu près horizontale, concave même parfois, tandis que le crayon inférieur conserverait sa pointe si les parcelles échappées du charbon supérieur ne venaient s'y fixer momentanément en forme de bourgeon.

L'arc voltaïque éclaire peu. Ce sont les charbons qui, par leur incandescence, sont la véritable source de la lumière émise. La surface éclairante de ce foyer lumineux est inférieure à un centimètre carré, la hauteur excédant d'un tiers environ la largeur.

---

§ 2.

Essais, expériences, applications faites de la lumière électrique.

I. — Les phares.

Dans l'ordre des dates, nous devons rappeler d'abord l'application de la lumière électrique aux phares. Mais nous ne reproduirons pas des détails déjà connus par des publications antérieures (*). Nous dirons quelques mots seulement de quatre points qui se rattachent de près à l'objet de la présente étude, savoir : la simplification des appareils optiques, l'augmentation des effets obtenus, la portée de la lumière électrique et la force motrice employée pour la produire.

La grande concentration des rayons lumineux a permis de diminuer dans une proportion considérable les dimensions

(*) On peut consulter notamment le mémoire, le volume de notices et la note qui ont été cités plus haut.

et conséquemment la dépense des appareils optiques. Ainsi, pour les phares de la Hève, qui sont de premier ordre, on a réduit la hauteur totale de 2m,59 à 0m,77 et le diamètre de 1m,84 à 0m,30 (*). Quel changement depuis le jour (*c'était en* 1782) où l'on croyait faire merveille en accumulant sur la tour de Cordouan quatre-vingts lampes à mèches plates, munies chacune d'un réflecteur sphérique!

En substituant l'électricité à l'huile de colza, on a augmenté comme l'indique le tableau suivant les effets *maxima* qui correspondent, dans nos phares de premier ordre, aux quatre principaux caractères de feux (**) :

	INTENSITÉ en becs Carcel.	
	Huile.	Électricité.
Foyer lumineux considéré à part	23	200
Feu fixe obtenu par la concentration des rayons	630	5.000
Feu à éclipses de 30 en 30 secondes	2.525	15.000
Feu scintillant	2.450	20.000
Eclats variant un feu fixe (environ)	4.000	73.500

Un appareil nouveau, envoyé par le Service des phares à l'Exposition de Philadelphie, peut donner, avec une lumière électrique de 200 becs au foyer, des éclats qui, séparés par des intervalles de vingt-cinq secondes, durent cinq secondes environ et présentent une intensité maximum de 60.000 becs.

On sait d'ailleurs qu'à raison de l'absorption de la lumière par l'air atmosphérique, surtout en temps de brume, l'accroissement d'intensité augmente fort peu la portée lumineuse au delà d'une certaine limite. Ainsi, comparant deux faisceaux lumineux de 3.500 et de 630 becs, dont l'un est cinq à six fois plus intense que l'autre, on obtient les résultats suivants :

(*) Toutefois, on a ramené de 0m,30 à 0m,50 le diamètre des lentilles construites en dernier lieu.

(**) Voir la notice de l'Exposition universelle de 1867, p. 301 et 305.

1° Par un temps assez clair, quand la lampe Carcel prise pour terme de comparaison est visible jusqu'à 5 kilomètres (*), la portée est de 18k,7 pour le phare à l'huile et de 25k,4 pour l'autre;

2° Quand la lumière unité n'est plus visible que jusqu'à 1 kilomètre, les portées deviennent 2k,08 pour l'un des phares et 2k,40 pour l'autre;

3° Enfin quand la lumière unité cesse d'être visible à 100 mètres, les portées des phares se réduisent à 160 et 177 mètres (**).

La lumière électrique est employée depuis 1863 à l'un des phares de la Hève, depuis 1865 à l'autre, et depuis 1868 au phare de Gris-Nez. On n'y affecte pas d'autres machines magnéto-électriques que celles de la compagnie *l'Alliance*. Chacun des phares de la Hève en a deux, ainsi que deux régulateurs Serrin. Une seule de ces machines suffit pour réaliser une intensité de 200 becs moyennement, qu'on double par les temps de brume en faisant fonctionner les deux machines à la fois. Il y a deux locomobiles de 8 chevaux à la Hève. Chacune d'elles peut conduire deux des quatre machines d'induction.

Ces machines se vendent aujourd'hui à raison de 2.000 francs par disque. Une machine à quatre disques, dont le poids excède un peu 2.000 kilog., suffit pour donner une lumière de 200 becs.

(*) Cette lumière unité, invisible à 25 mètres de distance par certains brouillards, peut être aperçue à plus de 9 kilomètres dans les nuits très-claires.

(**) Ces résultats, qui peuvent surprendre, sont extraits d'un rapport de M. l'inspecteur général Reynaud en date du 20 mai 1863 (Voir *Annales*, 1870, 1er sem., p. 334). — Du reste, le fait se conçoit aisément si, passant à la limite, on imagine un écran opaque interposé entre l'œil et une lumière d'intensité quelconque.

II. — Expériences de M. Tresca sur deux machines Gramme (1875).

Les recherches dont M. Tresca a rendu compte à l'Académie le 31 janvier dernier (*) ont porté, savoir : le 16 octobre, sur une machine qui alimentait une lampe de 1.850 becs Carcel, — le 4 décembre, sur une machine *de* 300 *becs*.

Nous groupons dans le tableau ci-après les dimensions intéressantes des deux machines et les résultats numériques de la double série d'expériences :

	Machines de	
	1850 becs.	300 becs.
1° *Dimensions hors-œuvre de la machine :*		
Longueur totale, y compris la poulie de transmission.	$0^{m},800$	$0^{m},650$
Largeur.	0 ,550	0 ,410
Hauteur.	0 ,585	0 ,506
2° *Électro-aimants fixes :*		
Longueur des cylindres massifs de fer (1).	0 ,479	0 ,355
Diamètre de chaque cylindre nu.	0 ,070	0 ,070
Id. du même garni de fil de cuivre.	0 ,132	0 ,120
Id. du fil.	0 ,0033	0 ,003.8
Poids du cuivre enroulé sur chaque cylindre.	$24^{kg},0$	$14^{kg},32$
3° *Anneau central :*		
Noyau de fer doux. — Diamètre extérieur.	$0^{m},195$	$0^{m},168$
Noyau de fer doux. — Epaisseur.	0 ,019	0 ,022,5
Noyau de fer doux. — Largeur.	0 ,119	0 ,101
Fil enroulé sur l'anneau. — Diamètre.	0 ,002,6	0 ,002
Fil enroulé sur l'anneau. — Poids total.	$14^{kg},50$	$4^{kg},65$
Diamètre du tambour de bois qui porte les *conducteurs* (2).	$0^{m},090$	$0^{m},089$
Fil conduisant l'électricité à la lampe : Diamètre.	0 ,007,8	0 ,002,6
4° *Nombre de tours* par minute de l'arbre de la machine au moment de la constatation du travail.	1.274	872
5° *Travail en kilogrammètres* par seconde. — Pour la machine entière.	$576^{kgm},12$	$210^{kgm},65$
5° *Travail en kilogrammètres* par seconde. — Par bec.	0 ,31	0 ,69
Force correspondante au travail total en chevaux-vapeur.	$7^{chx},68$	$2^{chx},81$

(1) Il y a quatre de ces cylindres fixes dans le grand modèle, deux au-dessus et deux au-dessous de la bobine. Il n'y en a que deux dans le petit modèle.
(2) Il n'y a qu'un de ces tambours dans le petit modèle; il y en a deux dans le grand, un de chaque côté de la bobine.

(*) T. LXXXII, n° 5, p. 299.

L'objet essentiel des expériences était de déterminer la quantité de travail ou de force motrice que la machine Gramme dépense pour produire la lumière. Or, au moment où le photomètre accusait des intensités respectives de 1850 et de 300 becs Carcel, on a trouvé 576 et 210 kilogrammètres par seconde, ce qui revient à 7,68 et 2,81 chevaux-vapeur.

Partant de ces résultats, M. Tresca s'exprime ainsi qu'il suit (p. 304 du *Compte rendu*) :

« 1850 becs Carcel exigeraient une consommation de « $1850 \times 0^{kg},040$ d'huile, soit 71 kilogrammes d'huile par « heure, ou de $1850 \times 0^{mc},105$ de gaz, soit 194 mètres « cubes de gaz d'éclairage, ou enfin 7,56 (*) $\times$ 4 kilo- « grammes de houille soit $30^{kg},24$ de houille. Dans ces con- « ditions, la dépense en combustible ne représenterait que « la centième partie de la dépense en huile et la cinquan- « tième partie de la dépense en gaz d'éclairage, à Paris. »

Cette conclusion sommaire a été fort remarquée, et elle devait l'être. Mais on en a méconnu le caractère abstrait et exagéré la portée pratique (**). Nous reviendrons, dans le § 3 de ce travail, sur la question de dépense comparative.

(*) Le véritable nombre est 7,68.

(**) Voici, par exemple, ce qu'en dit un des organes les plus accrédités de la science et des arts mécaniques aux États-Unis, le *Journal of the Franklin Institute*, dans sa livraison de mai 1876, page 294 (*nous traduisons littéralement la fin de l'article*) :

« . . . . Le fait le plus important et qui domine tout, « c'est l'assertion que la lumière électrique est cent fois moins « coûteuse que l'huile et cinquante fois plus économique que le « gaz. Si une application prolongée et pratique du nouveau système « démontre l'exactitude de cette comparaison saisissante (*this* « *startling comparison*), on peut prévoir un grand changement, « qui forcera finalement les fabricants de gaz à baisser quand « même leurs prix dans une proportion considérable, si tant « est que leurs intérêts ne s'en trouvent pas encore plus sérieuse- « ment compromis. »

III. — Essai d'éclairage fait a la gare de l'Est en 1866-67.

Cet essai, commencé en décembre 1866, s'est terminé en février 1867.

On s'était proposé d'éclairer la grande halle, qui a 30 mètres de largeur, plus la portion des voies comprise entre cette halle et le pont sur rails de la rue La Fayette. Une première lampe électrique, placée d'abord au fond de la halle et dans l'axe (au-dessus de l'horloge), fut bientôt remplacée par deux autres disposées de manière à enfiler les deux trottoirs de départ et d'arrivée, lesquels ont 6 mètres de largeur chacun. Une troisième lampe fut fixée à 30 mètres environ en deçà du pont, à 332 mètres des premières, et, comme celles-ci, à 14 mètres environ de hauteur.

Les deux lampes du fond de la halle, pourvues de régulateurs Serrin, étaient desservies chacune par une batterie de 60 éléments Bunsen (grand modèle). Leur intensité était de 100 becs, et la dépense constatée fut relativement considérable. La lampe extérieure, desservie par une machine magnéto-électrique de la compagnie *l'Alliance*, avait une intensité de 200 becs. Elle ne coûtait pas plus de 1f,50 par heure, tout compris.

Jusqu'à une distance de 100 mètres environ, le sol était éclairé par des rayons *directs*, mais tamisés au moyen de verres dépolis. Plus loin arrivaient des rayons supérieurs, renvoyés par des réflecteurs spéciaux.

On trouva trois défauts à cet éclairage :

1° La lumière alimentée par la machine magnéto-électrique présentait, comme les deux autres, de grandes variations d'intensité, accompagnées de scintillation ;

2° La lumière, même amortie, impressionnait l'œil désagréablement ;

3° Enfin le croisement des feux n'atténuait pas suffisamment la vivacité des ombres portées. Le personnel en était, nous dit M. Jacqmin, ahuri.

Ainsi, malgré une production fort économique de la la lumière, cet essai n'a laissé que des souvenirs défavorables à l'éclairage électrique.

IV. — Essais faits a la gare du Nord en janvier et février 1876 (*).

Les essais d'éclairage faits à la gare du Nord ont eu pour principal théâtre la salle d'arrivée des bagages. Elle a 38 mètres de longueur parallèlement aux voies, 39 mètres de largeur, 10 mètres de hauteur jusqu'à la naissance du comble, soit une superficie de 1.482 mètres carrés et une capacité totale de près de 20.000 mètres cubes. Pour bien fixer les idées, nous dirons d'abord comment cette salle est ordinairement éclairée.

A. — Éclairage au gaz.

Au-dessus des tables de distribution sont disposés 28 becs munis d'une cheminée en verre de $0^m,20$ et d'un abat-jour réflecteur en tôle vernie.

Ce ne sont pas des becs *de ville*, de ces becs à fente rectiligne au-dessus desquels le papillon lumineux déploie ses ailes plates. Ce sont des becs construits sur le principe de la lampe Carcel, des becs en porcelaine circulaires, annulaires, à trente trous et à deux courants d'air : un courant d'air extérieur, qui enveloppe la flamme, et un courant d'air intérieur qui, pénétrant dans la masse gazeuse, pro-

(*) Nos renseignements, en ce qui concerne ces essais, ont été puisés à des sources diverses. Nous en devons la plus grande partie à l'obligeance de M. Sartiaux, ingénieur-adjoint de l'exploitation du chemin de fer du Nord.

voque la décomposition des carbures d'hydrogène et met en liberté ces particules solides de carbone dont l'incandescence (suivant la théorie de Davy) constitue surtout le pouvoir éclairant. Ces becs enfin ne paraissent différer que par un petit détail du bec *Bengel*, que tout le monde connaît (*).

Deux des 28 becs, fixés à la porte d'entrée, restent allumés pendant sept à huit heures, entre cinq heures du soir et minuit, avec une flamme de 6 centimètres 1/2 de hauteur. Les 26 autres becs sont tenus en *veilleuses*, avec une flamme de $0^m,03$ seulement, pendant une durée moyenne de trois heures au moins: ils ne sont mis *en lumière* que lorsque l'arrivée d'un train nécessite une distribution de bagages.

La consommation du gaz est de 142 litres par bec et par heure dans le premier cas et de 80 dans le second. Le photomètre accuse pour intensités respectives, en becs Carcel, 1,32 et 0,36, montrant ainsi que le bec en veilleuse ne vaut pour l'intensité que les 0,27 du bec en lumière, tandis que sa consommation de gaz est les 0,56 de celle de l'autre.

Il peut être bon d'ajouter, pour plus de précision, que la lampe Carcel prise ici pour unité de lumière n'est pas tout à fait celle qui est admise dans le service des phares et qui brûle par heure 40 grammes d'huile de colza épurée. Ce type, si important au point de vue de l'éclairage public, a été déterminé, défini d'une façon beaucoup plus complète par MM. Dumas et Regnault dans une *instruction* en date du 12 décembre 1862, substituée pour la ville de

(*) Des expériences opérées en grand nombre sur différents types de becs usuels par MM. Dumas et Regnault, expériences dans lesquelles on a fait varier par dixièmes de millimètre la largeur des fentes, rectilignes ou annulaires, et le diamètre des trous, ont montré par une coïncidence assez singulière que, pour une même dépense de gaz, on obtient le maximum d'intensité lumineuse avec une largeur de fente ou un diamètre de trou de 6 à 8 dixièmes de millimètre.

Paris à celle qu'avaient dressée en 1845 MM. Arago, Fresnel et Mary. L'instruction de 1862 fait autorité, en matière d'éclairage municipal, non-seulement à Paris, mais dans presque toutes les grandes villes de France. Elle spécifie dans les plus minutieux détails toutes les circonstances dans lesquelles doit brûler la lampe-étalon. Nous n'en dirons rien de plus ici, sinon qu'elle suppose une consommation de 42 grammes d'huile par heure, et que le bec de gaz *normal*, c'est-à-dire le bec Bengel de même intensité, doit dépenser 105 litres dans le même temps sous une pression de 2 à 3 millimètres d'eau.

Telle est l'unité de lumière par rapport à laquelle les 28 becs de gaz de la salle d'arrivée des bagages du Nord, brûlant avec leur hauteur de flamme ordinaire, ont pour expression numérique 1,32 ou 0,36. Nous concluons de là qu'en pleine lumière cette salle est éclairée à peu près comme elle pourrait l'être par 1,32 × 28 ou 37 becs Carcel.

B. — Éclairage électrique.

Appareils essayés. — On n'a employé à la gare du Nord que la lampe-régulateur Serrin.

Après avoir essayé des crayons de différentes sections, on s'est arrêté à deux types : 7 millimètres sur 7 et 9 sur 9.

Relativement à l'usure par heure, on a trouvé les chiffres suivants :

Crayon de 7^{mm}. .	au pôle positif.	$0^{m},09$
	au pôle négatif.	$0^{m},045$
	Total.	$0^{m},135$
Crayon de 9^{mm}. .	au pôle positif.	$0^{m},06$
	au pôle négatif.	$0^{m},03$
	Total.	$0^{m},09$

La moyenne serait ainsi de $0^{m},11$, et elle comprend les

déchets, c'est-à-dire les portions comprises dans les porte-crayons et qu'on ne peut pas utiliser. — M. l'inspecteur général Reynaud (*p. 143 du Mémoire déjà cité*) comptait $0^m,07$ de perte finale sur un charbon ayant $0^m,27$ de longueur primitive et 7 millimètres sur 7 de section ; il évaluait (p. 169) à $0^m,16$ la consommation moyenne par heure avec les déchets. Mais depuis 1864 on a pu réaliser des perfectionnements notables sur ce point.

La longueur primitive des charbons était, à la gare du Nord, de $0^m,30$. Quand un charbon se trouvait usé, on avait une autre lampe toute prête à substituer à celle qui était hors de service. On sait comment cette substitution s'opère dans le service des phares (M. Reynaud, p. 147). — Dans l'atelier de MM. Sautter et Lemonnier, on n'affecte pas de lampes de rechange à cet usage. Comme on n'a pas d'ouvrages dangereux à exécuter dans l'atelier et qu'il reste deux autres lampes électriques en lumière, on remplace simplement les charbons lorsqu'ils sont usés, comme on recouperait la mèche d'une lampe ordinaire : remplacement qui s'opère, nous a-t-on dit, en trois ou quatre minutes.

Les charbons étaient payés autrefois $2^f,25$ le mètre courant. On les paye maintenant $1^f,75$. Un fabricant vient de s'engager à les livrer désormais à la Compagnie du chemin de fer du Nord au prix de 1 franc.

La lumière était enveloppée d'un globe de verre blanc, de $0^m,10$ environ de diamètre, dépoli sur l'hémisphère inférieur. Cet hémisphère absorbe ainsi une partie de la lumière qu'il reçoit; mais il épargne aux voyageurs et aux employés l'éblouissement des rayons directs. Quant à la lumière qui rayonne vers le haut, elle était reçue non par un abat-jour, mais, au contraire, par un tronc de cône renversé ou, plus exactement, par une sorte de paraboloïde analogue à la nappe supérieure des appareils *sidéraux* dans les anciens phares catoptriques. La lumière ainsi diffusée se réfléchit d'abord vers les murailles et le

comble, d'où une réflexion nouvelle en amène une partie dans la salle.

Chaque lampe était alimentée d'électricité par une machine Gramme. On en a essayé de 200, de 100 et de 50 becs (*).

Faits constatés. — On a d'abord installé une lampe unique, isolée au milieu et vers le haut de la salle des bagages. Une machine Lenoir de 2 chevaux était attelée à la machine magnéto-électrique de 150 becs. Mais on ne parvint pas à faire naître l'arc voltaïque.

La machine de 150 becs ayant été remplacée par celle de 100, la lampe s'alluma.

On substitua alors un moteur de 3 chevaux à celui de 2, et l'on reprit la machine de 150 becs. L'essai réussit, et la salle se trouva assez éclairée pour que le service pût se faire dans ces conditions pendant quelques jours.

On employa finalement deux lampes de 100 becs chacune, appliquées contre les murailles du sud et du nord, dans le milieu et vers le haut. Un tableau d'un mètre de côté, recouvert de papier blanc et légèrement incliné vers le bas, était placé derrière chaque lampe et un peu au-dessus, en guise de réflecteur. — Quant au moteur, il se composait alors d'une machine Lenoir de 3 chevaux, à laquelle une locomobile de même force prêtait un concours plus ou moins énergique.

Au point de vue des résultats obtenus, l'éclairage final a paru satisfaisant. Nous avons seulement entendu formuler quelques réserves relativement aux contrastes produits par l'inégale distribution de la lumière et aux irrégularités accidentelles du foyer lumineux, irrégularités qui s'accentuent quand le moteur faiblit.

(*) Les prix de vente de ces appareils sont 2.500, 2.000 et 1.500 francs. Mais on réduira, paraît-il, à 1.500 francs le prix de la machine de 100 becs.

Ainsi le problème de l'éclairage se trouvait résolu, résolu par 200 becs Carcel en lumière électrique au lieu de l'être par 37 avec le gaz. La clarté était naturellement plus vive en certains endroits; mais, en somme, les quatre-cinquièmes des rayons lumineux étaient émis, sinon absolument en pure perte, du moins en sus des besoins réels du service.

Sur le point intéressant de la force motrice employée, deux faits surtout sont à noter.

Le premier, c'est que la mise en train des machines Gramme (et probablement des autres machines d'induction) exige une force sensiblement supérieure à celle qui est nécessaire pour maintenir l'intensité de la lumière quand le courant est bien établi. (Ce surcroît de force a d'ailleurs paru moins grand à la gare du Nord qu'ailleurs.)

Le second fait, c'est que la force nécessaire ne paraît *diminuer que* dans une proportion très-faible quand on descend de la machine de 150 becs à celles de 100 et de 50. Ainsi, d'après les résultats constatés à la gare du Nord, la force en marche normale serait, savoir :

$2^{ch},7$ *pour* la machine	de 150 becs	avec des charbons	de	9^{mm}.
$2^{ch},5$ —	—	—		7^{mm}.
$2^{ch},6$ —	100 becs	—		9^{mm}.
$2^{ch},4$ —	—	—		7^{mm}.
$2^{ch},2$ —	50 becs	—		7^{mm}.

Quelques essais isolés d'éclairage ont été faits en outre dans la grande halle des voyageurs, théâtre mieux approprié aux avantages spéciaux de la lumière électrique. Cette halle, actuellement éclairée par 130 becs de gaz à double courant d'air, a 180 mètres de long, 70 mètres de large, une hauteur de 18 mètres à la naissance du comble et 30 mètres sous le faîte, soit une superficie de 12.600 mètres carrés et une capacité totale de 300.000 mètres cubes environ. On inclinait à penser qu'elle pourrait être convenablement éclairée avec 6 lampes de 100 becs.

On parlait de faire d'autres essais sur des voies de garage ou de triage très-fréquentées et sur des quais qui servent, pendant la nuit, aux transbordements de marchandises.

V. — Ateliers industriels.

L'éclairage électrique a fonctionné pendant tout ou partie de l'année 1875, à titre d'essai ou autrement, dans plusieurs établissements industriels. Voici ce que nous savons à cet égard.

Fonderie de fer de MM. Heilmann, Ducommun *et* Steinlen, *à Mulhouse.* — Quatre lampes Serrin de 100 becs, servies par quatre machines Gramme, éclairent une halle qui a 56 mètres environ sur 28, soit une superficie de 1.568 mètres carrés. Ces lampes occupent les quatre coins d'un rectangle inscrit de 21 mètres sur 14.

La bobine centrale fait 800 tours par minute.

La force motrice est empruntée à une machine à vapeur qui ne consomme, dit-on, que $1^{kg},50$ de houille par force de cheval et par heure.

Atelier de tissage de M. Pouyer-Quertier, *à l'Ile-Dieu.* — Quatre machines pareilles de 100 becs ont été affectées à l'éclairage d'une salle qui a 600 mètres carrés environ de superficie. La force motrice était empruntée à une turbine et à une machine Corliss conjuguées.

Les résultats de cet essai et la conclusion qu'on en a tirée ne nous sont qu'imparfaitement connus.

Ateliers de MM. Sautter et Lemonnier, *constructeurs de phares, à Paris.* — Ces ateliers se composent de deux travées contiguës de 20 mètres sur 30, présentant ensemble une superficie de 1.200 mètres carrés. Ils ont été éclairés pendant tout l'hiver dernier par 3 lampes de 100 becs chacune.

Port du canal de la Marne au Rhin, à Sermaize (Marne). — Des essais ont été faits pendant l'hiver dernier sur l'un des ports du canal de la Marne au Rhin à Sermaize, port contigu à une sucrerie. On voulait continuer pendant les longues nuits de l'arrière-saison le déchargement, si pressé alors, des bateaux de betteraves, et en conduire immédiatement le contenu dans l'usine, sans mise en dépôt sur le terre-plein du canal. Il importait d'ailleurs que le terre-plein restât libre en tous sens pour la circulation. Ce problème spécial fut résolu grâce à une machine Gramme de 100 becs, placée auprès d'une des machines à vapeur de l'usine, à 70 mètres de distance de la lampe. Les ouvriers, qui déchargeaient deux bateaux simultanément, purent travailler (*c'est l'ingénieur du canal qui nous l'écrit*) sans aucun embarras.

Lumière électrique à bord des navires. — Le *Journal officiel* du 5 mai courant rend compte, d'après le *Courrier des États-Unis*, d'un essai ou plutôt d'une exhibition de lumière électrique faite, dans le courant du mois d'avril, à bord d'un paquebot de la Compagnie transatlantique qui stationnait en vue de New-York. Ce paquebot était pourvu d'une machine Gramme et d'un régulateur Serrin. La lampe était installée à 7 mètres de hauteur au-dessus du pont, soit à 15 mètres environ au-dessus du niveau de la mer. On en avait fait un phare à éclipses, dont les intermittences variaient au gré de l'officier de quart.

Il y a, croyons-nous, plusieurs navires actuellement pourvus de ce puissant signal, qui est pour eux un élément si précieux de sécurité.

---

§ 3.

Comparaison de l'éclairage électrique et de l'éclairage au gaz.

Rien de plus naturel que de prendre l'éclairage au gaz comme terme de comparaison, si l'on veut apprécier la valeur industrielle de la lumière électrique; mais il ne faut pas se borner à comparer des chiffres de dépense : on doit aussi, et avant tout, examiner jusqu'à quel point et dans quelles conditions le nouveau mode d'éclairage pourrait remplacer l'ancien. Nous n'aborderons le point de vue financier qu'après le point de vue technique.

I. — Comparaison technique.

S'il était nécessaire de poser dogmatiquement les principes d'un bon éclairage, nous pourrions renvoyer à l'un des maîtres les plus incontestés de la science moderne (*); nous pourrions citer deux mémoires que Lavoisier présentait, il y a un siècle, à l'Académie des Sciences, l'un sur « les différents moyens qu'on peut employer pour éclairer une grande ville », l'autre sur « la manière d'éclairer les salles de spectacle (**) ». Mais nous nous contenterons ici d'analyser directement la question spéciale qui nous occupe.

Deux traits caractérisent au premier coup d'œil l'éclairage électrique : le vif éclat de la lumière et, par suite, la nature des ombres portées. Les rayons directs sont intolérables pour la vue. Quant aux ombres, elles sont si sin-

(*) Né en 1743, mort sur l'échafaud en 1794.

(**) Voir le tome III des *Œuvres de Lavoisier*, imprimées à l'Imprimerie nationale et publiées aux frais de l'État en 1865.

gulièrement noires que des ouvriers y ont vu souvent, sur les chantiers, comme des trous qui semblaient s'ouvrir subitement à côté d'eux. Lors d'expériences faites à diverses époques à Paris, sur la voie publique, les chevaux s'en effarouchaient.

On remédie aisément au trop vif éclat de la lumière. On y remédie, d'une part, en faisant traverser aux rayons plongeants un verre dépoli; d'autre part, en s'abstenant d'employer les abat-jour ordinaires et ne tirant qu'un faible profit des rayons dirigés vers le ciel. Le but est donc atteint, mais il l'est au prix d'un sacrifice équivalant à un cinquième au moins des rayons émis. Une lampe électrique de 100 becs Carcel se trouve ainsi réduite à 80 becs au plus de lumière utilisable.

En ce qui concerne les ombres, il y a aussi un procédé bien simple pour les atténuer aussi complétement qu'on le désire : c'est de multiplier les points lumineux, de façon à éclairer les diverses faces de tout objet qu'on veut rendre bien visible. Mais la lumière électrique, dans l'état actuel des moyens de production, se prête mal à cette division; elle ne se fractionne réellement pas au-dessous de 100 becs; c'est là, jusqu'à nouvel ordre, la véritable unité de lumière électrique. Le nombre des lampes s'en trouve naturellement restreint : on n'en a pas encore employé plus de quatre à l'éclairage d'un même local. — Ce moyen usuel d'adoucir au moins les ombres ne s'appliquant que dans une mesure aussi insuffisante, on en a cherché un autre dans l'élévation des lampes au-dessus du sol. Elles sont à plus de 6 mètres de hauteur dans l'atelier de MM. Sautter et Lemonnier; elles étaient à 9 ou 10 mètres dans la gare du Nord et à 14 mètres dans la gare de l'Est. La lumière arrivant de haut en bas, les ombres n'en sont pas moins denses, mais elles sont moins allongées.

Voilà donc le second inconvénient, sinon corrigé, du moins atténué; mais à quel prix? En est-on quitte pour

l'embarras de n'accéder aux foyers lumineux qu'à l'aide d'escaliers ou d'échelles? — Nous allons faire voir que cette élévation inusitée des appareils d'éclairage, combinée avec leur grand espacement horizontal, se traduit par une deuxième et considérable diminution de l'intensité lumineuse.

Il importe de bien s'entendre ici sur les mots et sur les choses, et nous présenterons dans ce but quelques observations préliminaires.

L'intensité d'une lumière, telle qu'on l'évalue et qu'on la chiffre à l'aide du photomètre, ce n'est pas la somme de lumière émise, le nombre total des rayons qui, s'éparpillant à mesure qu'ils s'éloignent du foyer, éclairent au même degré toutes les portions de chaque enveloppe sphérique dont ce foyer occuperait le centre. L'intensité d'un foyer lumineux, c'est autre chose : c'est la quantité de lumière qu'en recevrait l'unité de surface placée à l'unité de distance, la lampe Carcel étant prise pour unité. D'autre part, le degré d'éclairage, en un point donné de l'espace, a pour expression la quantité de lumière qu'y reçoit l'unité de surface, un décimètre carré par exemple.

Cette quantité varie, en tant qu'elle provient d'un foyer lumineux donné, en raison inverse du carré de la distance que la lumière a parcourue. Conséquemment, pour qu'elle soit la même, pour que le degré d'éclairage soit le même quand il y a deux foyers lumineux, il faut que les intensités N et n de ces foyers soient entre elles comme les carrés des distances, D et d. On a, en un mot, la proportion

$$N : n :: D^2 : d^2.$$

Pour fixer les idées, faisons $N = 80$ becs Carcel.

Jusqu'à quelle distance une pareille lampe éclairerait-elle autant qu'un bec Carcel placé à 1 mètre? Si l'on fait $n = 1$ et $d = 1$, il vient

$$D = \sqrt{80} = 9^m.$$

Que deviendrait ce champ d'éclairage si l'on se conten-

tait d'un éclairage grossier, tel que celui d'un bec Carcel placé à 5 mètres? Si l'on fait $n = 1$ et $d = 5$, il vient

$$D = d\sqrt{N} = 45^m.$$

Si la distance diminue de moitié, dans quelle proportion la valeur intrinsèque du foyer lumineux pourra-t-elle se réduire sans que son intensité relative change? Faisant $d = \frac{D}{2}$, on obtient :

$$n = N\frac{d^2}{D^2} = \frac{1}{4}N.$$

Ainsi une lampe de 20 becs équivaudra, dans cette hypothèse, à une de 80 qui serait deux fois plus éloignée des objets à éclairer.

Ceci bien entendu, comment se pose, dans la pratique, un problème d'éclairage pour un chef d'industrie qui tient à se rendre compte de ce qu'il fait? Se demande-t-il *à priori* quelle est la somme totale de lumière à produire pour l'éclairage d'un local donné, et si cet éclairage exige l'*équivalent* de 2, 3 ou 4 centaines de becs Carcel? Rien n'est plus éloigné de sa pensée. Il a en vue un certain nombre d'hommes qui doivent travailler dans ce local et y exécuter des opérations diversement assujettissantes. On peut supposer qu'ils seront groupés, debout ou assis, autour de tables circulaires éclairées par une lumière centrale. En faisant varier le diamètre des tables, on assurera à chaque ouvrier le degré d'éclairage dont il a besoin. Si d'ailleurs certains points sont éclairés davantage, les rayons surabondants seront considérés comme perdus, car nous excluons l'hypothèse d'un luxe intentionnel d'éclairage; ou, plus exactement encore, ces rayons supplémentaires qui s'imposeraient par places (comme il arrive avec la lumière électrique), contrariant la perception visuelle des objets compris dans une clarté moins vive, seraient de nature à gêner et fati-

guer la vue. Mais n'insistons pas sur cet inconvénient spécial de l'inégalité d'éclairage. Bornons-nous à dire que les objets considérés comme *éclairés* seront ceux qui recevront au moins, par unité de surface, la quantité de lumière convenue et définie par le programme.

Susceptible de se fractionner indéfiniment, la lumière du gaz permet, tout en se pliant aux besoins les plus complexes des ateliers, de réduire à des minima ces distances qui modifient si gravement l'intensité utile des foyers lumineux. La lumière électrique, au contraire, a ses exigences, auxquelles il faut que l'industrie se soumette : c'est à prendre ou à laisser. Très-peu nombreux, ses appareils sont nécessairement très-espacés, et comme on les élève en même temps, ils se trouvent relativement fort éloignés des objets à éclairer. Par suite, le nombre des rayons qu'ils envoient sur un point donné, sur 1 décimètre superficiel donné, se trouve relativement restreint. Prenons un exemple : si les lanternes à gaz de Paris étaient placées à la hauteur non pas du premier étage, mais du cinquième (à 17^m au lieu de $3^m,40$), leur intensité relative serait 25 fois plus faible ; que deviendrait alors l'éclairage des rues ? Et pourtant la quantité de lumière émise n'aurait pas changé.

Pour conclure, nous aurions à rechercher quelle est, en fait, la distance moyenne des lampes électriques aux objets à éclairer dans les salles d'ateliers ou autres, ou plutôt quel est le rapport de cette distance à celle qui est usitée dans l'éclairage au gaz. Mais on ne pourrait guère répondre à une question aussi générale, et nous nous bornerons à dire que l'hypothèse, ci-dessus faite, du simple au double nous paraît être plutôt au-dessous qu'au-dessus de la réalité, plutôt favorable que défavorable à l'éclairage électrique dans les applications effectuées jusqu'ici.

En résumé donc, ayant égard à l'absorption partielle de la lumière par les verres dépolis et à la perte qui résulte de l'éloignement des lampes, on pourrait, dans les circonstances

ordinaires, éclairer au même degré, c'est-à-dire doter l'unité de surface d'une même quantité minimum de lumière, en demandant au gaz $\frac{1}{5}$ ou 20 p. 100 environ de la lumière produite par l'électricité : 20 becs Carcel de lumière de gaz équivaudraient, pour l'intensité totale utilisable, à 100 becs de lumière électrique.

Des différents faits constatés et consignés au § 2 de la présente étude, nous n'en voyons pas un seul qui infirme cette appréciation, un peu hypothétique pourtant, de l'amoindrissement que subit la lumière électrique quand on l'applique à un éclairage ordinaire. Sans avoir vu la halle de fonderie de MM. Heilmann-Ducommun à Mulhouse, nous serions surpris qu'elle ne pût pas être convenablement éclairée par 80 becs Bengel dépensant chacun 105 litres de gaz à l'heure. Nous supposons aussi que 60 becs de gaz suffiraient à l'éclairage de l'atelier de MM. Sautter et Lemonnier. Quant à la salle des bagages du chemin de fer du Nord, nous n'en sommes pas réduit à des suppositions, et l'exemple est assez significatif pour qu'on s'y arrête.

C'est un fait qu'après avoir essayé d'éclairer cette salle avec une lampe unique de 150 becs, on a dû recourir à deux lampes de 100 becs chacune. Si l'on eût commencé par cet éclairage électrique et qu'on s'en fût tenu là, on alléguerait peut-être que l'éclairage au gaz, exigeant aussi 200 becs de lumière émise, eût coûté plus cher que l'autre. Mais il y a un second fait, aussi patent que le premier : c'est que depuis bien des années l'éclairage au gaz existe, qu'il fonctionne publiquement à la satisfaction commune de la compagnie du chemin de fer du Nord et du public, et qu'il n'emploie pourtant que 37 becs Carcel de lumière divisée entre 28 appareils spéciaux. Cet éclairage au gaz, qu'il serait si facile d'accroître ou de réduire, donnant incontestablement la mesure exacte de ce que les besoins du service réclament, il s'ensuit que la fraction des rayons électriques qui, dans l'expérience faite, se trouvait absorbée

avant d'arriver à destination ou perdue par le fait d'une distribution dont on n'est pas maître, s'élevait précisément aux quatre cinquièmes de la lumière émise par les deux lampes. En d'autres termes, *chaque lampe électrique remplaçait* 20 *becs de gaz.*

Cet exemple nous paraît très-net. Il met clairement en évidence l'erreur qui consiste à comparer les frais des deux modes d'éclairage dans l'hypothèse d'une égale quantité de lumière produite, en fixant arbitrairement cette quantité au chiffre fortuit qui correspond à l'intensité totale des lampes électriques, et en ne tenant compte ni de la façon dont la lumière sera distribuée, ni de la distance fort inégale qui existera entre les foyers lumineux et les objets à éclairer, ni enfin de l'affaiblissement causé par les verres dépolis.

Ajoutons quelques mots encore en vue de la comparaison technique.

Nous rappellerons, sans y insister, que la lumière électrique, même adoucie, produit sur les yeux une impression insolite, un malaise attribué à sa couleur bleuâtre (d'autres disent verdâtre), aux rayons ultra-violets qu'elle contient en plus grand nombre que la lumière solaire. Ce défaut, du reste, sera peut-être un jour corrigé par l'interposition de globes convenablement colorés.

Il sera probablement plus difficile d'amortir le ronflement qui, dans toutes les machines, accompagne la production de l'électricité, et qui, en couvrant partiellement la voix, peut être gênant dans certaines circonstances.

Il est un autre inconvénient que tous les témoignages s'accordent à signaler, c'est l'irrégularité de la lumière. On l'attribue à peu près exclusivement au défaut d'homogénéité des charbons. Il y aurait probablement, si nous avons bien compris M. Gramme, un autre moyen d'approcher du but : ce serait de ne pas lésiner sur la force motrice et d'employer des machines d'induction telles qu'elles puissent, avec

une vitesse de rotation restreinte, et sans atteindre la limite de leur puissance effective, donner aux lampes l'intensité voulue. — On peut se demander encore si les variations de cette intensité ne tiendraient pas, pour une petite part, à des variations de vitesse de l'anneau, et celles-ci aux oscillations qui sont, comme chacun sait, inhérentes à la marche des moteurs à vapeur. Cette dépendance peut, en tout cas, faire craindre pour la machine Gramme un autre inconvénient, à savoir un développement anormal de chaleur, susceptible de détruire les matières isolantes qui entourent les fils de cuivre : c'est un point qui ne paraît pas être encore absolument tiré au clair.

Une dernière condition fondamentale d'un bon éclairage, c'est la facilité d'installation, d'entretien et de surveillance des appareils, l'allumage et l'extinction des feux. Or les lampes électriques, comme nous l'avons dit, ne sont généralement accessibles qu'au moyen d'escaliers ou d'échelles; et si l'on peut, par la simple manœuvre d'un commutateur, établir ou interrompre le courant, l'allumage (avec le règlement ultérieur de l'écart entre les charbons et la surveillance de régulateurs imparfaits) n'en reste pas moins une petite opération qui ne peut être accomplie que par un ouvrier de choix. Rien de pareil pour le gaz : on sait avec quelle facilité il se fixe aux murailles ou se suspend aux plafonds; on sait comment il s'allume ou s'éteint (*). Il y a là enfin, entre les deux modes d'éclairage, une différence de maniement si profonde, tant de simplicité d'un côté, tant de sujétions de l'autre, que, — n'y eût-il pas d'autre avantage pour le gaz, — le choix à faire ne nous paraît pouvoir être que dans des cas exceptionnels subordonné à une comparaison des dépenses.

(*) En Amérique, dans toutes les chambres d'hôtel, qu'elles soient pourvues de becs isolés ou de lustres, le gaz est entièrement laissé à la disposition de tous les voyageurs. Dans les salons de New-York, grâce à de longs tubes de caoutchouc, les lampes à gaz se promènent d'un guéridon à un autre.

II. — Comparaison financière.

La production de la lumière est une question, l'éclairage en est une autre; il ne faut pas confondre le moyen avec la fin. Aussi M. Tresca, dans son compte rendu du 31 janvier, n'a nullement entendu comparer les frais d'éclairage. L'honorable académicien n'a même pas comparé les frais de production de la lumière; il n'a comparé que les frais de combustible. Et encore ne l'a-t-il fait que pour une machine Gramme d'intensité tout à fait exceptionnelle, celle de 1.850 becs, qui fournit une quantité déterminée de lumière beaucoup plus économiquement que les machines de 100 becs. — Comme les frais de combustible ne sont pas, entre le gaz et l'électricité, proportionnels aux frais de l'éclairage, il s'ensuit que le rapprochement de chiffres dont il s'agit, intéressant au point de vue théorique, n'impliquait pas la conclusion pratique qu'on a cru y voir.

Nous allons donc, en reprenant les chiffres de M. Tresca, compléter l'estimation de la dépense, par heure d'éclairage, dans l'un et l'autre système. Nous examinerons huit cas différents : ceux d'un espace éclairé par 1, 2, 3 ou 4 lampes électriques de 100 becs chacune, les machines Gramme étant actionnées soit par le moteur d'une grande usine, soit par un moteur spécialement installé pour le service de l'éclairage, bien que cette hypothèse d'un moteur spécial n'ait encore été réalisée nulle part (que nous sachions), si ce n'est dans les phares. Pour chacun de ces huit cas, nous déterminerons successivement, savoir : 1° en ce qui concerne la force motrice, sa valeur en chevaux-vapeur, la quantité et le prix de la houille brûlée par heure, enfin les frais de conduite du moteur; — 2° en ce qui concerne les appareils électriques, la valeur des prismes de charbon consumés et les frais de surveillance; — 3° enfin la somme à compter par heure d'éclairage pour l'intérêt et l'amortissement des frais de premier établissement.

Indiquons d'abord les bases de l'estimation, de manière à n'avoir plus qu'à grouper dans un tableau les résultats calculés.

1° DÉPENSES DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

Force motrice. — Si l'on réunit, relativement à la force motrice, les résultats indiqués par M. Tresca et ceux fournis pour la gare du Nord, on obtient le tableau suivant :

INTENSITÉ de la lumière en becs Carcel.	NOMBRE de tours de la bobine centrale par minute.	TRAVAIL en kilogrammètres par seconde		FORCE DÉPENSÉE en chevaux-vapeur	
		pour la lumière totale.	par 100 becs.	pour la lumière entière.	par 100 becs.
1.850	1.274	576.12	31	7,68	0,415
300	872	210.65	70	2.81	0.937
150	800	187.50	125	2,5	1,67
100	800	180.00	180	2.4	2.4
50	1,650	165.00	330	2.2	4,4

Désirant tout interpréter au mieux pour l'éclairage électrique, nous supposerons qu'une lampe de 100 becs exige, en marche normale, une force de 2 chevaux seulement (au lieu de 2,4). Mais nous compterons moitié en sus, et dans tous les cas, pour la mise en train, car le supplément de force qu'elle emploie peut créer une gêne momentanée quand on l'emprunte à un moteur préexistant, à un moteur commun dont les excédants ne sont pas toujours disponibles. Les dépenses courantes n'en sont d'ailleurs augmentées que d'une quantité insignifiante et négligeable.

Nous supposons (comme M. Tresca) que la consommation de houille par heure et par force de cheval serait de 4 kilog., au moins pour les petites machines spéciales; mais nous la réduisons à $1^k,50$ pour les moteurs communs, admettant que ceux-ci sont des machines perfectionnées, telles qu'on peut les construire aujourd'hui, des machines Corliss par exemple (*).

(*) Les lecteurs des *Annales* connaîtront bientôt, s'ils ne le con-

La houille est estimée au prix de Paris, 30 francs la tonne.

Pour l'emprunt fait aux moteurs communs, nous imputons au compte de l'éclairage, comme frais de premier établissement, une part estimée à 1.000 francs par force de cheval. Quant aux frais de conduite du moteur, nous en affranchissons l'éclairage.

Pour l'établissement de machines spéciales de 3, 4, 6 et 8 chevaux, nous comptons respectivement 1.500, 1.400, 1.300 et 1.200 francs par force de cheval. Pour la conduite de la machine et les menus frais d'entretien courant, nous comptons 0f,60 par heure.

Appareils électriques. — Pour la dépense des charbons polaires, nous portons 0m,12 à 1f,75, prix actuel de ces charbons, soit 0f,21 par heure et par lampe. (M. Tresca compte 0f,20, p. 305 du *Compte rendu.*)

Quel que soit le nombre des lampes desservies chacune par une machine Gramme, nous portons 0f,40 pour le salaire de l'ouvrier chargé de les surveiller en même temps que les machines d'induction.

Intérêt et amortissement des frais d'installation. — Nous portons ici une annuité moyenne de 10 p. 100, appliquée aux frais d'installation du moteur, des machines Gramme et des régulateurs Serrin, en la répartissant (en vue des ateliers industriels) sur une durée présumée de 500 heures d'éclairage par an.

2° DÉPENSES DE L'ÉCLAIRAGE AU GAZ.

Conformément à ce qui a été dit précédemment, nous admettons qu'il faille fournir en lumière de gaz, pour chaque lampe électrique de 100 becs, l'équivalent de 20 becs Carcel.

---

naissent déjà, ce nouveau fleuron ajouté à la couronne des ingénieurs américains par M. George H. Corliss, de Providence (Rhode-Island).

En face d'un programme précis, et notamment d'un plan détaillé du local à éclairer, on rechercherait le nombre et la forme des becs à employer pour la combustion du gaz. On pourrait adopter 20 becs Bengel consommant chacun 105 litres par heure. Mais si l'on ne tenait pas à avoir 20 points lumineux indépendants les uns des autres, il serait préférable d'employer des becs consommant 150 ou 200 litres : pourvu que le brûleur y fût bien adapté, le pouvoir éclairant croîtrait plus vite que la consommation, et les frais d'installation diminueraient avec le nombre des becs. Néanmoins, pour simplifier la discussion, nous supposerons qu'on n'emploie que des becs de 105 litres.

Le prix du gaz est de 0f,30 par mètre cube à Paris, comme à Nantes, à Toulouse, à Strasbourg. (Aux États-Unis en 1870, il était presque partout compris entre 0f,45 et 0f,90.) Il s'agit, bien entendu, du prix que les particuliers payent aux compagnies concessionnaires, car ce prix est réduit à moitié dans les grandes villes de France pour l'éclairage des rues, des places et des établissements publics.

Les frais d'installation des appareils de gaz, dans les villes où la canalisation est faite, et pour les établissements industriels, paraissent pouvoir être évalués à 30 fr. par bec. Cependant nous comptons 40 francs, prix considéré comme une moyenne pour les maisons de Paris. Et bien qu'une annuité de 10 p. 100 soit excessive ici pour l'intérêt et l'amortissement, nous porterons 4 francs par an et par bec, soit 8 millimes par heure d'éclairage.

Nous comptons 1 millime par bec et par heure pour frais d'entretien, d'allumage et d'extinction.

Dans ces conditions, l'éclairage au gaz coûte 4 centimes par bec et par heure aux particuliers; il n'en coûterait que 2 ½ s'il s'agissait d'une affaire municipale.

L'application des bases qui précèdent conduit aux résultats consignés dans les deux tableaux suivants :

Dépense de l'éclairage électrique par heure.

	1 LAMPE DE 100 BECS — MOTEUR		2 LAMPES DE 100 BECS — MOTEUR		3 LAMPES DE 100 BECS — MOTEUR		4 LAMPES DE 100 BECS — MOTEUR	
	commun. 1	spécial. 2	commun. 3	spécial. 4	commun. 5	spécial. 6	commun. 7	spécial. 8
Force motrice requise pour la marche normale. .	2ch	2ch	4ch	4ch	6ch	6ch	8ch	8ch
Force motrice requise pour la mise en train. . . .	3	3	6	6	9	9	12	12
Consommation de houille en marche normale. . .	3k	8k	6k	16k	9k	24k	12k	32k
1° Dépenses courantes par heure.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Valeur de la houille brûlée.	0,09	0,24	0,18	0,48	0,27	0,72	0,36	0,96
Conduite et surveillance du moteur, y compris huile, chiffons, etc.	»	0,60	»	0,60	»	0,60	»	0,60
Dépense des charbons polaires.	0,21	0,21	0,42	0,42	0,63	0,63	0,84	0,84
Surveillance des machines Gramme et des lampes électriques.	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Total des dépenses courantes. . . .	0,70	1,45	1,00	1,90	1,30	2,35	1,60	2,80
2° Frais de premier établissement.								
Moteur	2.000	4.500	4.000	8.400	6.000	11.700	8.000	14.400
Machines Gramme.	1.500	1.500	3.000	3.000	4.500	4.500	6.000	6.000
Régulateurs Serrin, conducteurs, etc..	1.000	1.000	2.000	2.000	3.000	3.000	4.000	4.000
Total des frais de premier établissement	4.500	7.000	9.000	13.400	13.500	19.200	18.000	24.400
Intérêt et amortissement { par année, 10 p. 100.	450	700	900	1.340	1.350	1.920	1.800	2.440
Intérêt et amortissement { par heure d'éclairage $\frac{1}{500}$ . . .	0,90	1,40	1,80	2,68	2,70	3,84	3,60	4,88
Rappel des dépenses courantes.	0,70	1,45	1,00	1,90	1,30	2,35	1,60	2,80
Total général.	1,60	2,85	2,80	4,58	4,00	6,19	5,20	7,68
Rapport de la dépense de combustible à la dé- [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tableau comparatif des dépenses des deux modes d'éclairage.

	1 LAMPE. — MOTEUR		2 LAMPES. — MOTEUR		3 LAMPES. — MOTEUR		4 LAMPES. — MOTEUR	
	commun.	spécial.	commun.	spécial.	commun.	spécial.	commun.	spécial.
clairage électrique.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
nses courantes. . . .	0,70	1,45	1,00	1,90	1,30	2,35	1,60	2,80
êt et amortissement. .	0,90	1,40	1,80	2,68	2,70	3,84	3,60	4,88
Total.	1,60	2,85	2,80	4,58	4,00	6,19	5,20	7,68
° Éclairage au gaz.	fr.		fr.		fr.		fr.	
nses courantes.	0,65		1,30		1,95		2,60	
êt et amortissement. . . .	0,16		0,32		0,48		0,64	
Total.	0,81		1,62		2,43		3,24	

Nous n'ajouterons que quelques observations sommaires sur ces deux tableaux.

En ce qui concerne l'éclairage électrique, la dépense de houille ne constitue qu'une faible partie de la dépense totale, soit, dans les huit cas successivement examinés : 6 et 8, 6 et 10, 7 et 12, 7 et 13, pour 100.

Les frais d'installation doublent et au delà le montant des dépenses courantes. Et cependant nous n'avons supposé qu'une seule machine à vapeur, quel que soit le nombre des lampes, comme nous n'avons supposé par lampe qu'un seul régulateur Serrin et une seule machine Gramme. Or, dans la plupart des industries il serait imprudent de ne pas faire, au moins en partie, ce qu'on a fait aux phares de la Hève, de ne pas doubler le nombre des machines et appareils nécessaires, afin d'en avoir de rechange pour les accidents et les réparations. Mais, d'autre part, le nombre d'heures de l'éclairage annuel pourrait excéder 500.

La dépense se réduit presque à moitié quand on peut faire actionner les machines Gramme par un puissant mo-

teur d'usine. La réduction serait même plus considérable si l'on disposait d'un moteur hydraulique.

Évaluée par lampe de 100 becs, la dépense décroît naturellement quand le nombre des lampes augmente : elle décroît de $1^f,60$ à $1^f,30$ dans un cas et de $2^f,85$ à $1^f,92$ dans l'autre.

Quant à la dépense correspondante de l'éclairage au gaz, elle est dans tous les cas de $0^f,81$. Elle varie de 28 à 62 p. 100 de l'autre, suivant les cas; elle est moitié moindre environ.

On peut toutefois supposer : 1° qu'on arrive à réduire les frais de production de la lumière électrique à 1 franc par lampe; 2° que l'éclairage à réaliser soit assez simple pour que chaque lampe puisse remplacer 25 becs de gaz (au lieu de 20) à 4 centimes l'un. Dans cette double hypothèse, les dépenses seraient égales.

En résumé, les détails qui précèdent permettent de raisonner à deux points de vue très-différents.

Se propose-t-on de produire de la lumière en quantité considérable, disproportionnée avec les besoins ordinaires, — les besoins actuels tout au moins, — de l'industrie et de la civilisation? L'électricité est sans contredit plus économique que le gaz.

Mais s'il s'agit de pourvoir aux conditions nécessaires et suffisantes d'un bon éclairage, la question de dépense, — indépendamment de bien d'autres considérations, — ne peut que très-exceptionnellement se résoudre à l'avantage de l'électricité.

Suivant qu'on choisira le programme de fantaisie ou le programme pratique, la réponse nous paraît résulter nettement des chiffres ci-dessus établis.

---

§ 4.

Conclusions.

Les conclusions à tirer de l'ensemble de cette étude se divisent naturellement en deux catégories : les unes sont relatives à la production de la lumière électrique par la machine Gramme, les autres concernent l'application qu'on en peut faire à l'éclairage.

Dans la première catégorie, trois points nous paraissent ressortir avec un certain caractère de nouveauté :

1° On n'avait peut-être pas remarqué suffisamment l'intensité extraordinaire qu'il est aujourd'hui possible de réaliser *industriellement* dans la lumière électrique : 1.850 becs Carcel de lumière directe, sans le secours d'aucun artifice optique ! A un mètre de distance, c'est près du tiers de l'intensité du soleil, tel qu'il nous apparaît sur la terre. (La Grèce des temps primitifs aurait vu peut-être en M. Gramme un nouveau Prométhée.) Et ce résultat est obtenu à l'aide, non pas d'un instrument de laboratoire, mais d'une vraie machine.

2° Cette machine, qui a déjà fait connaître le nom de M. Gramme dans les deux mondes, n'est pas seulement neuve au point de vue du mode de production des courants voltaïques, elle paraît plus pratique, plus maniable que celles qui l'ont précédée (*). Elle occupe moins de place en surface et en hauteur; elle est dix fois moins lourde, pesant moins de 200 kilogrammes quand elle est apte à fournir une lumière de 200 becs. Solide et compacte enfin, elle peut se transporter rapidement sur un chariot de

(*) Ceci est, croyons-nous, applicable à plusieurs machines qui ont été construites pour le service des phares en Angleterre. Mais nous ne les connaissons qu'imparfaitement.

campagne ou fonctionner à bord d'un navire par les plus grosses mers.

3° La dépense de production de la lumière, sans être aussi réduite que certaines personnes l'ont cru, n'en est pas moins très-faible et croît fort peu quand on s'élève à 1.000 becs Carcel et au-dessus dans l'échelle des intensités. Pour les *lampes d'atelier*, d'une intensité nominale de 100 becs, la dépense peut, dans certaines circonstances, se réduire à près de 1 franc par heure.

Qu'y a-t-il lieu d'inférer de ce triple progrès pour le développement des applications de l'électricité à l'éclairage?

On pourrait, ce nous semble, distinguer trois cas généraux dans les applications possibles :

1° *Les phares.* — Quand il s'agit des phares, on est fondé à comparer sur la base d'une égalité de lumière émise les différents genres de lumière, car tous les rayons sont recueillis, concentrés et utilisés dans la mesure du possible. La portée lumineuse n'augmente pas, il est vrai, à beaucoup près en proportion de l'intensité, surtout par les temps brumeux. Cependant, il nous paraît difficile qu'après avoir décuplé déjà, en la portant de 25 becs Carcel à 200, la lumière des phares de premier ordre (*), on ne soit pas tenté de la décupler encore, surtout si les machines de M. Gramme donnent bien réellement le moyen d'y parvenir avec un faible accroissement de dépense. Ce surcroît de lumière permettrait d'augmenter notablement la durée des éclats et donnerait ainsi aux marins plus de temps pour relever exactement leur position.

On sait d'ailleurs que les signaux acoustiques sont en ce moment même l'objet d'études approfondies sur les côtes de France et d'Angleterre, non moins qu'en Amérique, où

(*) Des phares à 5 mèches, avec l'huile de colza.

la sirène fonctionne sur une grande échelle. L'anche stridente de la *trompette* sera-t-elle finalement préférée à la sirène américaine? C'est possible. Mais, comme l'une et l'autre ont besoin d'un moteur à vapeur ou autre, ce moteur agrandi pourrait desservir en même temps une machine magnéto-électrique et fournir indirectement une occasion d'étendre dans les phares l'emploi de l'électricité.

Ici, à la vérité, les nouvelles machines auront à subir un contrôle préalable des plus sérieux. Nous désirons que M. Gramme l'affronte. Il trouvera, croyons-nous, la commission des phares toute prête à se livrer à un bienveillant examen de ses appareils.

2° *Autres circonstances où le gaz ordinaire n'est pas applicable.* — Un fanal électrique peut être fort utile à bord des paquebots durant les nuits sombres, soit que ceux-ci stationnent, incertains de leur position, dans les brouillards si fréquents sur les côtes de Terre-Neuve, soit qu'ils avancent à la grâce de Dieu, — comme une locomotive engagée dans un long souterrain, — suivant l'une ou l'autre des deux ou trois lignes par lesquelles se dirigent aujourd'hui, au risque de s'y heurter, les steamers chaque jour plus nombreux qui naviguent entre l'Europe et le nord de l'Amérique. La machine Gramme semble spécialement apte à remplir un rôle de ce genre.

Les emplois accidentels ou temporaires de la lumière électrique pourront se multiplier, soit sur les grands chantiers, en cas d'urgence, soit à la guerre, une locomobile suivant ou emportant la machine d'induction. Peu importe, en pareil cas, le gaspillage de rayons lumineux.

Toujours dans l'hypothèse de l'isolement, de l'éloignement des villes pourvues de gaz, il existe des établissements industriels qui, plutôt que de monter à leur seul usage des cornues à gaz et des gazomètres, peuvent se contenter d'un éclairage imparfait, mais plus économique que l'éclairage

à l'huile. C'est pendant les longues nuits d'hiver que le blé afflue aux moulins et que les eaux grossies leur prodiguent la force motrice.

3° *L'électricité en concurrence avec le gaz.*—Le consommateur qui a le choix entre les deux modes d'éclairage regarde de plus près aux imperfections du nouveau venu. Il s'enquiert non-seulement de ce qu'il coûte, mais aussi, et avant tout, de la mesure dans laquelle ils satisferait aux conditions d'un bon éclairage. Alors apparaissent les *desiderata* que nous avons signalés.

Quant à réaliser ici une économie, il n'y faut pas penser si les circonstances locales ne sont pas telles que les becs de gaz puissent être sans inconvénient réunis par faisceaux de 30 au moins, auquel cas chacun d'eux serait remplacé par une lampe électrique.

Quoi qu'il en soit, cette branche de la physique appliquée a fait depuis quelques années des progrès incontestables, et nous espérons bien que les ingénieux chercheurs qui s'y sont attachés n'en resteront pas là.

Paris, le 11 mai 1876.

TABLE DES MATIÈRES.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Juillet 1876.

N° 33

M. E. Pontzen, ingénieur autrichien, ancien élève externe de l'École des ponts et chaussées, actuellement à Philadelphie comme membre de la commission autrichienne pour l'Exposition internationale, nous adresse les trois notes suivantes. On remarquera surtout les conditions d'économie et de rapidité dans lesquelles ont été construits les deux viaducs métalliques de Varrugas (chemin de fer de Lima à Oroya) et du Portage (chemin de fer de l'Erié).

I. — Chemin de fer de Lima a Oroya (Pérou).

1° *Traversée du faîte.* — La construction des chemins de fer du Pérou a présenté des difficultés considérables, par suite de la configuration du sol. Les *Annales* (*) en ont parlé à plusieurs reprises. Nous devons à l'obligeance de M. W. W. Evans, ingénieur-conseil à New-York, quelques données concernant la construction du chemin de fer qui traverse les Andes entre Lima et Oroya. Cette ligne doit être plus tard continuée et relier les ports péruviens du Pacifique avec les ports brésiliens de l'Atlantique.

En dehors des ouvrages d'art considérables qui se trouvent sur le parcours de 206^{k},8 entre Lima et Oroya, c'est surtout le tunnel de faîte, dit le « *summit tunnel* », qui mérite l'attention. Ce tunnel a une longueur de 1.175 mètres ; il est construit pour une voie ainsi que les 60 autres souterrains de cette ligne. Les pieds-droits

(*) Voir *Annales* 1874, 2e sem., page 316, et 1875, 2e sem., page 690.

ont $3^m.50$ de haut et laissent une largeur libre de $4^m,80$; la voûte est en plein cintre, ce qui donne une hauteur, sur l'axe, de $5^m,90$ au-dessus du rail.

Le point culminant de la ligne se trouve dans le grand tunnel, à $4.769^m,3$ au-dessus du niveau de la mer; à partir de la tête ouest du souterrain, la rampe est de 35 millimètres par mètre sur les deux tiers de sa longueur; sur l'autre tiers du tunnel, la pente est de 2 millimètres vers l'est. En dehors du souterrain la pente générale de la ligne vers l'est est très-faible, tandis que vers l'ouest les pentes sont très-fortes et atteignent 40 millimètres sur de grandes longueurs. Dans les fortes courbes (de 120 à 300 mètres de rayon), on n'a pas admis d'inclinaison supérieure à $33^{mm},3$ $\left(\frac{1}{30}\right)$. On a dû en outre faire usage de rebroussements. Citons comme exemple la section comprise entre les kilomètres 138,22 et 145,69 (soit 7.470 mètres), qui s'élève de la cote 3.672 mètres à la cote $3.934^m,2$.

Le tracé passe d'abord de la rive gauche à la rive droite du ruisseau « Rimac », en formant une boucle qui aboutit à un premier rebroussement; puis il longe la rive droite du Rimac, repasse sur la rive gauche et revient ainsi jusqu'au-dessus de la première boucle; de là il tourne dans un ravin latéral et revient par un second rebroussement sur le coteau de la rive gauche du Rimac. Dans cette section de tracé qui contourne le village de « Chicla » il n'y a pas moins de 5 tunnels, 2 ponts sur le Rimac et deux rebroussements; la rampe moyenne est de $35^{mm},1$ et les courbes roides se suivent de très-près.

Par suite des grandes difficultés que présente la construction de cette ligne, les trains ne pouvaient aller à la fin de 1873 que jusqu'à Matucana, c'est-à-dire à $87^k,7$ de Lima, et s'arrêtaient à $68^k,3$ du grand tunnel. Commencé en octobre 1872, ce souterrain eût certainement pu être terminé en janvier 1876, si le défaut de fonds n'eût arrêté les travaux. A cette époque la galerie d'avancement placée au sommet du profil transversal du souterrain, et ayant 7 mètres carrés de section, était percée sur toute sa longueur et le tunnel était terminé à toute largeur sur 221 mètres courants.

On estime que plus de la moitié du tunnel devra être munie d'un revêtement maçonné de $0^m,40$ à $0^m,50$ d'épaisseur. Lors de l'interruption des travaux, l'avancement mensuel, en travaillant aux deux têtes, avait atteint 45 mètres, tandis qu'il avait été de beaucoup inférieur dans les commencements.

Il n'était pas possible d'employer pour ce tunnel de faîte les mineurs chinois ou chiliens; les premiers rendaient d'excellents services dans les tunnels qui se trouvaient à une altitude de moins de 3.600 mètres; au-dessus de cette altitude, les ouvriers chinois ne résistaient plus, et il fallut employer des mineurs du pays, habitués à travailler dans les mines d'argent et pouvant mieux supporter les fatigues du travail dans l'air raréfié.

Un essai fait avec des machines à forer mues par l'air comprimé dut être abandonné par suite des grandes dépenses qu'occasionnait la compression d'un air trop dilaté. Avec le travail à bras d'hommes, on trouva préférable de pratiquer l'avancée dans le haut du profil transversal.

Le mètre cube de bois de charpente, à pied d'œuvre, revenait à environ 400 francs, la tonne de charbon à environ 650 francs, par suite de la nécessité de faire à de grandes distances les transports à dos de mulet.

La roche que l'on rencontrait était très fissurée et exigeait une surveillance assidue; ses fissures étaient quelquefois tellement chargées d'eau qu'un coup de fleuret en faisait jaillir l'eau en un jet puissant qui repoussait l'outil et le lançait à distance.

Tant qu'il y eut des fonds disponibles, tout marcha bien; il y eut des moments où la somme des avancements dans les tunnels de la ligne atteignait 450 mètres par mois; à défaut de dynamite, dont l'approvisionnement était souvent insuffisant, on avait recours à la poudre.

Actuellement l'achèvement de ces magnifiques travaux est suspendu, faute d'argent.

2° *Viaduc de Varrugas.* — Ce viaduc est à 80 kilomètres environ de Lima, sur la ligne de Lima à Oroya; les rails sont à l'altitude de 1.670 mètres. Il sert à franchir la vallée profonde de l'*Aqua de Varrugas.* Il est à une seule voie.

La longueur entre les culées est de 175^{m},35, et la hauteur maxima de 76^{m},81.

Il se compose de quatre travées, dont trois de 30^{m},50 (portée franche) et une de 38^{m},10.

Les trois piles métalliques ont des hauteurs de 43^{m},20 76^{m},81 et 54^{m},25 au-dessus du sol. Ces piles ont, dans le sens de la voie, une grande longueur (15,25 comptés entre les axes des colonnes extérieures), uniforme sur toute la hauteur; transversalement, leur largeur, de 4^{m},57 au sommet, croît régulièrement jusqu'à la base, en raison du fruit de 1/12 donné aux colonnes extérieures. Chaque

pile est formée de trois panneaux verticaux perpendiculaires à l'axe du chemin de fer, et espacés de $7^m,625$ d'axe en axe. Chacun de ces panneaux est composé de quatre colonnes creuses figurant un W renversé. Les piles sont contreventées et entretoisées solidement sur toute leur hauteur.

Les colonnes sont des tubes ronds composés de fers laminés du Phœnix. Le profil de ces fers est un arc de cercle terminé par deux oreilles dirigées suivant les rayons; on assemble ces fers en rivant les oreilles, pour composer des tubes creux. Dans les panneaux extérieurs, le diamètre des colonnes est de $0^m,305$, et le tube est formé de 6 arcs de cercle; dans le panneau médian de chaque pile, le diamètre extérieur est réduit à $0^m,203$ et le tube est formé de 4 arcs. Les colonnes sont divisées en segments de $7^m,16$ de longueur, assemblées par des manchons en fonte qui reçoivent les attaches des barres d'entretoisement et de contreventement.

Les travées sont formées de poutres en fer armées du système Fink. (Voir pour ce système l'ouvrage de M. Malézieux sur les *Travaux publics aux États-Unis d'Amérique*, page 38.)

Sous une surcharge accidentelle de 3.300 kilog. par mètre courant, le fer travaille à un effort maximum de $8^k,40$ par millimètre carré dans les poutres, de $3^k,25$ dans les grosses colonnes et de $2^k,20$ dans les petites. Par de grands ouragans produisant une pression de 275 kilog. par mètre carré, soit une vitesse du vent d'environ 45 mètres, l'effort peut s'élever dans les colonnes à 8 kilog. à la pression de $1^k,50$ à la traction. Les fers ont résisté, aux essais, à une traction de 42 kilog. par millimètre carré, et toutes les pièces importantes ont été essayées à 14 kilog. par millimètre carré.

L'exécution de ce bel ouvrage a été conduite avec une précision et une rapidité remarquables : commencé le 17 septembre 1872, il était livré à l'exploitation le 8 janvier 1873.

Le montage fut exécuté de la manière suivante : on tendit en travers de la vallée deux forts câbles en fil de fer, portés par des piles en charpentes reposant sur les culées.

Les pièces métalliques des piles, amenées près de la culée de Lima, étaient suspendues à un chariot roulant sur les câbles, et descendues à leur emplacement définitif. Pour la construction des travées, on se servit des mêmes câbles pour supporter des ponts de service. Ce travail aérien fut exécuté, non par des ouvriers d'usine, mais par des matelots, qui, sous la direction de contremaîtres habiles, s'en acquittèrent fort bien, sans qu'on eût à déplorer ni mort ni blessures.

La pile n° 1	haute de	$44^m,20$	fut montée en	.....	12 jours.
id. n° 2	*id.*	$76^m,81$	*id.*	.....	10 *id.*
id. n° 3	*id.*	$54^m,25$	*id.*	.....	18 *id.*
Une traverse de	....	$38^m,10$	*id.*	.....	5 *id.*
id.	....	30^m 50	*id.*	.....	22 heures.
id.	....	$30^m,50$	*id.*	.....	16 *id.* ½
id.	....	$30^m,50$	*id.*	.....	18 *id.*

En dehors de quelques travaux insignifiants de terrassements et de maçonnerie, les dépenses ont été les suivantes :

	francs
Pièces métalliques des piles et travées, à bord, au port de New-York.	643.250
Fret, y compris assurances, commissions, déchargement et transport sur chantier.	103 000
Échafaudages et apparaux.	49.250
Construction proprement dite.	62.000
Total.	857.500

Les poids de métal employé sont les suivants :

	FER.	FONTE.	TOTAUX.	TOTAUX par mètre courant.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
1re pile de $44^m,20$.	113.725	16.835	130.560	2.955
2e pile de $76^m,81$.	200.710	23.705	224.415	2.920
3e pile de $54^m,25$.	133.990	17.845	151.835	2.800
Travée de $38^m.10$.	28.210	3.190	31.400	825
Par travée, $30^m,50$ (3 semblables).	19.855	3.200	23.055	755
Totaux.	496.490	64.775	561.265	»

Malgré les prix élevés des transports et la grande rapidité d'exécution, les dépenses de construction de ce bel ouvrage n'atteignent pas 105 francs par mètre carré en élévation.

II. — Chemin de fer de l'Érié.

Viaduc du Portage. — Ce viaduc, à une voie, est situé sur la ligne de l'Érié, et franchit le Genesee-River, qui coule au fond d'une vallée profonde.

Il remplace un ancien pont en bois, qui était composé de travées de $15^m,25$ de portée ; les poutres de ce pont étaient portées par des palées en bois reposant sur des socles en maçonnerie de

9 mètres de hauteur. Ce pont fut incendié dans la nuit du 5 au 6 mai 1875, et le viaduc en fer qui le remplaça fut livré à l'exploitation le 31 juillet de la même année, c'est-à-dire quatre-vingt-six jours après.

Ce viaduc a une longueur de 250 mètres et une hauteur maxima de 71^m,70. Il est composé de 7 travées, savoir :

1	travée de	36^m,50	(portée franche).
2	*id.*	30^m,50	*id.*
4	*id.*	15^m,25	*id.*

La voie est portée par deux poutres armées du système Pratt (*loc. cit.*, p. 34 et suiv.), distantes de 6^m,10.

Chaque pile métallique est formée de deux panneaux verticaux, perpendiculaires à la voie, distants de 15^m,25 d'axe en axe, solidement entretoisés et contreventés, et réunis à leurs têtes par deux poutres du système Pratt, semblables à celles des travées de même longueur. Chacun de ces panneaux est composé de deux colonnes quadrangulaires, distantes au sommet de 6^m,10 d'axe en axe, et ayant un fruit extérieur de 1/8.

Il en résulte que deux des piles, d'une hauteur de 61 mètres, ont une largeur, à la base, de 21^m,35 ; une pile de 49^m,41 mesure 18^m,47 à la même hauteur, et les trois autres piles, de moins de 15 mètres, ont une largeur, dans le bas, inférieure à 10 mètres.

Les colonnes sont en tôle sur trois faces et en treillis sur la quatrième, le tout réuni par des cornières d'angle ; elles sont construites par segments de 7^m,60 de long, assemblées au moyen de pièces de fonte, sur lesquels sont fixés les contrevents ; les entretoises longitudinales et transversales portent sur les colonnes dans le voisinage de ces joints.

Les panneaux verticaux reposent sur les socles en maçonnerie, qui portaient les travées de l'ancien pont, la nouvelle construction a exigé aussi le remaniement des anciennes culées.

Les panneaux, d'une grande hauteur, sont consolidés vers leur base par une troisième colonne intermédiaire placée verticalement et s'élevant jusqu'à 33 mètres au-dessous du rail.

Le montage a été fait au moyen d'échafaudages volants qui reposaient sur la partie des piles déjà construite, et s'élevaient d'étage en étage au fur et à mesure de la construction. Les poutres ont été montées sur un pont de service construit sur le sol et hissé au sommet des piles.

Voici le poids du métal employé :

	kilog
1re pile	21.980
2e pile	129 055
3e pile	126.060
4e pile	83.940
5e pile	26.250
6e pile	19.895
Ensemble pour les 6 piles	407.180

Pour 10 travées de 15m,25	89 555	
id. 2 *id.* 30m,50	58 490	
id. 1 travée 36m,50	39 075	
Ensemble pour les 13 travées		187.120
Total		594.300

Le prix total de la reconstruction, y compris le remaniement des culées et d'une partie des socles en maçonnerie, s'est élevé à environ 492.500 francs.

La superficie en élévation étant d'environ 10.720 mètres, le prix de la reconstruction par mètre carré en élévation ne ressort qu'à 46 francs.

N° 34

ACCIDENTS DE CHEMINS DE FER.

1° *Allemagne.* — La *Gazette de Francfort* donne, d'après le bureau de statistique des chemins de fer allemands, les renseignements officiels suivants sur les accidents qui se sont produits en 1875, sur l'ensemble du réseau allemand, moins le réseau bavarois.

Il y a eu 2.131 déraillements ou rencontres de trains, savoir 755 pour les trains en marche et 1.736 pour les trains en garage; 1.250 accidents de diverse nature, non spécifiés, ont entraîné une interruption du service régulier.

Dans ces divers accidents, le nombre des personnes blessées plus ou moins grièvement s'est élevé à 1.545, et le nombre des morts à 509.

A un autre point de vue, on compte un accident sur 3.362.280 kilomètres parcourus, ou bien un accident sur 5.394 trains de voyageurs et un sur 2.290 trains de marchandises.

Enfin, il y a un blessé sur 2.443.300 voyageurs, et un voyageur tué sur 11.402.067 voyageurs transportés.

2° *Les chemins de fer anglais en* 1875. — L'*Engineering* cite d'après un rapport officiel, les chiffres qui suivent :

Il y a eu 55 collisions entre des trains de voyageurs; elles ont amené la mort de 10 voyageurs ; 221 voyageurs et 12 employés des compagnies ont été blessés. Les accidents de même nature entre trains de voyageurs et trains de marchandises ou machines ont atteint le chiffre de 179; 2 voyageurs et 1 employé ont été tués 678 voyageurs et 63 employés blessés à la suite de ces collisions 77 rencontres entre trains de marchandises se sont produites et ont amené la mort de 5 employés, tandis que 11 voyageurs (personnes accompagnant des bestiaux) et 60 employés étaient blessés. Enfin 7 rencontres de locomotives marchant à vide ont occasionné des blessures à 5 employés.

Les déraillements de trains de voyageurs ou de parties de ces trains ont été au nombre de 87 et ont amené la mort de 2 voyageurs et de 2 employés; 89 voyageurs et 12 employés ont été blessés. 60 déraillements de trains de marchandises ont causé la mort de 4 employés et blessé 1 voyageur et 5 employés.

Dans 75 cas, des trains ou des machines furent dirigées à tort sur des voies d'évitement ou furent mal aiguillés : 1 voyageur et 2 employés furent tués dans ces accidents, 51 voyageurs et 25 employés y furent blessés. Une trop grande vitesse des trains dans les gares fut la cause de 29 accidents où furent blessés 54 voyageurs et 4 employés.

Dans 283 cas, des trains rencontrèrent des bestiaux vaguant sur la voie ou d'autres obstacles : 1 employé fut tué, 8 voyageurs et 2 employés furent blessés. 79 fois les trains traversèrent les portes des passages à niveau, tuant 1 employé et en blessant 4.

Des explosions de chaudières, de tubes, d'indicateur de niveau eurent lieu 20 fois : 23 employés furent blessés.

Les ruptures de bandages se produisirent 660 fois, et par suite 1 employé fut tué; 16 voyageurs et 2 employés furent blessés. 29 ruptures de chaînes d'attelage amenèrent la mort de 3 voyageurs et 1 employé ; 40 voyageurs et 5 employés furent blessés.

On signale 17 éboulements dans des tranchées, ayant causé la mort de 2 employés et à la suite desquels 3 voyageurs et 3 employés furent blessés. 21 cas d'incendie dans le train amenèrent la mort de 1 employé.

14 dérangements dans le mécanisme blessèrent 2 employés; 478 ruptures d'essieux, 5 employés; 6 ruptures de freins, 8 voyageurs; 7 ruptures de câbles (sur des plans inclinés), 2 employés; 476 ruptures de rails, 1 employé; 8 cas d'incendie aux stations,

1 voyageur; 112 ruptures de roues et 88 inondations de la voie n'amenèrent aucune blessure; enfin 36 accidents non spécifiés furent la cause de blessures à 33 voyageurs et 5 employés.

Les 660 ruptures de bandages se répartissent ainsi : locomotives, 34; tenders, 17; wagons à voyageurs, 31; fourgons, 34; wagons à marchandises, 544 (parmi ces derniers, 166 appartenaient à des propriétaires autres que les compagnies); 120 étaient en acier, 472 en fer, les autres non spécifiés. 477 bandages étaient assujettis aux roues par des boulons ou des rivets; 94 se rompirent au niveau de trous des rivets.

Dans 359 cas les bandages se fendirent longitudinalement, et dans 22 la rupture eut lieu à la soudure.

Les 478 essieux qui se rompirent se répartissent comme suit: locomotives, 259, dont 235 essieux moteurs; tenders, 18; wagons à voyageurs, 6; wagons à marchandises, 195 (parmi ceux-ci, 66 wagons appartenaient à des propriétaires autres que les compagnies).

Sur les 476 rails qui furent rompus, 327 étaient à double champignon et 175 avaient été déjà retournés.

Dans le cours de cette année 1875, 116 voyageurs furent tués et 594 blessés par leur faute; 43 tués et 105 blessés en tombant entre le wagon et le quai; 19 tués et 316 blessés en tombant sur le quai alors qu'ils voulaient monter dans le train ou en descendre; 34 tués et 33 blessés en traversant les voies aux gares; 7 tués et 35 blessés en tombant hors du wagon pendant la marche; 43 blessés par la fermeture des portières; enfin pour 13 morts et 59 blessés, la cause n'est pas spécifiée. D'autre part, 66 personnes furent tuées et 41 blessées en traversant la voie aux passages à niveau; 248 tuées et 185 blessées en circulant en contravention sur la voie; 25 personnes se suicidèrent en se jetant sur la voie au devant d'un train. Enfin parmi les cas non détaillés il faut citer 52 tués et 105 blessés qui, pour la plupart, étaient des particuliers que leurs affaires appelaient dans les bureaux des compagnies.

744 employés divers furent tués et 3 377 blessés, savoir : pendant les opérations de changement de voie, 104 tués et 469 blessés; en tombant des locomotives ou wagons, 61 tués, 185 blessés; par le choc contre des ponts par-dessus, 12 tués, 25 blessés; par la rencontre de wagons sur la voie adjacente pendant les évitements, 9 tués, 58 blessés; en montant ou en descendant du train, 61 tués, 276 blessés; en chargeant ou déchargeant des wagons, 19 tués, 541 blessés; aux manœuvres des grues ou des cabestans, 7 tués et 1.182 blessés; en travaillant à la voie, 85 tués et 186

blessés; en circulant sur la voie pour se rendre au travail ou pour en revenir, 11 tués et 13 blessés; en traversant la voie ou en y marchant ou s'y tenant en place, 214 tués et 228 blessés; en passant entre des wagons, 24 tués et 78 blessés; en s'occupant de la locomotive, la nettoyant, etc., 12 tués et 122 blessés; en manœuvrant les portes aux passages à niveau, 5 tués et 2 blessés; en tombant entre les wagons et le quai, 22 tués et 54 blessés; en tombant des échelles, des échafaudages, etc., 16 tués et 191 blessés; en attelant ou dételant les wagons, 51 tués et 347 blessés; la chute de portes de wagons, de charpentes, de poids, etc., amena la mort de 5 employés, 197 furent blessés; enfin, pour des causes non spécifiées, il faut compter 12 tués et 193 blessés.

En résumé, le nombre des personnes tuées ou blessées sur les chemins de fer ouverts au public se répartit comme suit pour l'année 1875 :

Angleterre et pays de Galles. . . .	1.061	tués.	5.262	blessés.
Écosse.	188	—	437	—
Irlande.	41	—	56	—
Total pour le Royaume-Uni.	1.290	—	5.755	—

C. M. G.

N° 35

NOTICE

SUR

LA MACHINE A DÉTENTE VARIABLE

DE M. CORLISS

Par M. H. RÉSAL, Ingénieur des mines, membre de l'Institut.

Nous devons à l'obligeance de MM. Lecouteux et Garnier, qui construisent cette machine pour un groupe important de départements dont Paris est le centre, les éléments nécessaires pour rédiger cette notice.

La machine Corliss remplit, à notre avis, toutes les conditions que l'on puisse exiger, et que nous allons énumérer; mais auparavant nous devons faire remarquer que quelques-unes d'entre elles, sur la distinction desquelles nous n'insisterons pas, avaient déjà reçu leur application dans les machines à distribution à soupapes.

Dans la machine dont nous nous occupons, l'avance à l'introduction est réduite au strict nécessaire pour éviter les chocs; la période de compression des distributions à tiroir, qui donne lieu à une perte de travail, faible à la vérité, est supprimée; les espaces nuisibles, les frottements des organes de distribution, sont réduits à leurs plus faibles limites pratiques. Les causes de refroidissement dans la distribution, dues à la condensation, sont supprimées.

Les lumières d'admission et celles d'échappement, indépendantes les unes des autres, sont très-rapidement ouvertes et fermées, ce qui supprime les pertes de pression

et de travail utile dues au laminage de la vapeur sous l'action lente des tiroirs ordinaires. La section des lumières d'admission est réduite au $\frac{1}{15}$ de celle du cylindre, tandis que, en général, cette proportion n'est pas inférieure à $\frac{1}{20}$ et atteint souvent $\frac{1}{30}$ dans les machines les mieux construites; de là une réduction très-notable dans la diminution de pression de la vapeur à son arrivée dans le cylindre.

La vapeur de la chemise n'est pas introduite dans le cylindre, ce qui est fort important au point de vue du travail développé sur le piston, et l'eau qui résulte de sa condensation retourne à la chaudière par un tuyau adapté à la partie inférieure de l'enveloppe; la vapeur qui agit sur le piston est prise dans un réservoir placé à la partie supérieure du cylindre.

Par suite d'une disposition particulière, il est extrêmement facile de rectifier, quand il y a lieu, le jeu de la distribution; une autre disposition, non moins ingénieuse, permet également de replacer très-exactement dans l'axe du cylindre, celui de la tige du piston lorsqu'il en est dévié par suite de l'usure du stuffing-box.

Un modérateur hydraulique très-simple supprime presque instantanément les oscillations des boules du régulateur, qui commande la distribution, au moment des écarts de vitesse.

Les diagrammes relevés dans les machines, dont les cylindres sont munis d'enveloppes, cadrent d'une manière on ne peut plus satisfaisante avec les tracés qui résultent de la loi de Mariotte.

La suppression presque complète des espaces nuisibles permet de porter la détente bien au delà même des limites pratiques, tout en obtenant des diagrammes extrêmement réguliers; nous avons été notamment frappé par deux de ces diagrammes, l'un correspondant à une admission de $\frac{1}{45}$, l'autre à une admission tellement faible qu'il est impossible de distinguer les deux ordonnées qui la limitent.

Dans des conditions normales et en marche industrielle, le rapport entre le travail transmis à l'arbre moteur, mesuré au frein, et le travail indiqué par le diagramme, atteint généralement 0,90 et souvent 0,93; il nous semble qu'il est impossible d'exiger plus.

La machine Corliss est à connexion directe et à cylindre horizontal; tout l'ensemble est étudié en vue d'obtenir la plus grande résistance sous le plus petit volume; le bâti, en forme de poutre, reliant en un seul tout le cylindre et le palier moteur, est bien préférable aux bâtis ordinaires.

Des fondations très-faibles suffisent, par suite, pour supporter la machine, condition importante dans l'installation d'un moteur.

La vapeur (Pl. 17, *fig.* 1) arrive par un tuyau vertical T, au milieu d'une boîte rectangulaire horizontale circonscrite à la partie supérieure du cylindre avec lequel elle fait corps; la vapeur se répand, par deux orifices de chaque côté de ce réservoir, dans l'enveloppe du cylindre, et l'eau résultant de la condensation dans cette enveloppe est renvoyée à la chaudière en ouvrant un robinet inférieur.

L'admission de la vapeur dans le cylindre est réglée par deux distributeurs D, D_1 placés aux extrémités de la boîte. Chacun d'eux (*fig.* 7) est formé d'une monture en fer, dont la section est rectangulaire, qui peut tourner autour d'un axe horizontal de direction perpendiculaire à celle du mouvement du piston.

Sur cette monture est ajustée, à frottement doux, un piston circulaire formé d'un segment de cylindre dont l'axe est celui de la monture; deux ressorts méplats, interposés entre la monture et le piston, font appuyer ce dernier sur la glace du cylindre et compensent les effets de l'usure.

L'orifice d'admission, qui s'étend sur toute la largeur de la boîte (largeur qui est égale au diamètre intérieur du cylindre), se trouve à peu près vers le milieu d'une autre portion de la surface cylindrique, en creux, plus large que

celle du piston distributeur, et qui forme la glace de distribution.

Le distributeur ne supporte que la pression qui s'exerce sur la surface, relativement petite, de la partie cylindrique du piston; l'axe de la monture traverse, par des stuffing-box, les parois latérales de la boîte. Il résulte de cette disposition que l'on n'a à vaincre qu'un faible frottement pour déplacer le distributeur.

L'espace nuisible étant réduit à l'intervalle compris entre la glace et le cylindre, la perte de travail due à la détente dans cet espace est presque supprimée. Les deux distributeurs d'échappement E, E_1 sont situés exactement au-dessous des précédents, à la partie inférieure du cylindre; ils ont le même diamètre, et leur forme (*fig.* 8) est étudiée en vue de réduire autant que possible l'espace nuisible. Leur éloignement de ceux d'admission supprime la cause de refroidissement dans la distribution due à la condensation et annule les coups d'eau.

La section des orifices d'échappement est le $\frac{1}{9}$ de celle du cylindre, afin de permettre à la vapeur détendue d'arriver facilement au condenseur; la période d'ouverture des distributeurs d'admission les plus rapprochés de l'arbre moteur correspond aux $\frac{19}{20}$ de la course. Les deux pieds du cylindre, servant de conduits à l'échappement, sont reliés à un tuyau placé dans le massif, lequel est en communication avec un condenseur à injection.

Il nous reste maintenant à faire connaître le mécanisme qui produit le jeu des distributeurs.

Pour plus de clarté, nous affecterons de l'indice $_1$ les lettres qui se rapportent au distributeur le moins éloigné de l'arbre moteur qui désignent les organes correspondants de l'autre distributeur.

Un excentrique oB (*fig.* 1 et 2) est monté sur l'arbre moteur o et fait avec la manivelle oA un angle qui ne diffère de 90° que d'une quantité de l'ordre des angles d'avance

ordinaires; vers son extrémité, la barre d'excentrique BB′, dirigée horizontalement vers le cylindre, présente une encoche dans laquelle s'engage, quand la machine est en marche, le bouton B′ d'une manivelle dont l'axe o' est parallèle à celui de l'arbre moteur. Cette forme de la barre est utile pour manœuvrer à la main, lors de la mise en marche, le distributeur, en agissant sur un levier adapté à l'arbre o'.

La manivelle o'B′ est calée sur un plateau que portent quatre manetons a, a_1, c, c_1, dont les deux derniers commandent, par des bielles, les manivelles Ec, E$_1c_1$, terminant les axes des distributeurs d'échappement. Les deux autres sont reliés par des bielles, articulées en b, b_1, à deux pièces appelées *porte-ressorts*, qui peuvent tourner autour d'un axe fixe horizontal o'', parallèle à l'axe o'.

Occupons-nous maintenant, pour fixer les idées, du système qui se rapporte au distributeur d'admission le plus rapproché de l'arbre moteur.

Deux lames élastiques sont engagées dans un même encastrement et sont fixées dans la région du porte-ressorts voisines de l'axe o''. Les extrémités de ces lames sont munies d'un appendice permettant, à l'aide de deux bielles, de les relier à une tige formant le prolongement de la bielle horizontale qui commande la manivelle Dd du distributeur; sur cette tige est monté un piston en bronze p fonctionnant dans un cylindre fermé seulement du côté du porte-ressort, et dont nous indiquerons plus loin la fonction.

A l'extrémité opposée à l'axe o'' est articulée une pièce appelée *palette du déclic* qui est formée, du côté du cylindre, d'une partie rectiligne gh, et de l'autre côté, d'une partie légèrement courbe dont la convexité est tournée vers le bas.

L'extrémité de la partie droite est entaillée par-dessous, de manière à pouvoir, sous l'action d'un petit ressort disposé en conséquence, venir buter sur l'angle dièdre supé-

rieur de l'extrémité de la tige du piston-guide, extrémité qui affecte la forme d'un parallélipipède rectangle dont deux faces sont horizontales.

On verra, à l'examen de l'ensemble du mouvement, que dans la période d'oscillation du porte-ressort, correspondant à sa marche vers le cylindre, ou dans ce qu'on peut appeler le *mouvement direct*, la palette du déclic pousse la bielle et fait tourner le distributeur qui, au moment voulu, démasque rapidement la lumière d'admission; dans le mouvement inverse, la bielle reviendrait en arrière sans l'action du ressort avec lequel elle est assemblée, comme nous l'avons dit plus haut; mais cette circonstance ne se présente pas toujours, comme nous le verrons bientôt.

Le régulateur, qui est placé en arrière des porte-ressorts par rapport au cylindre, est monté sur une colonne creuse contenant son mouvement de commande; il ne peut que soulever ou abaisser son manchon qui est engagé dans une rainure ménagée dans la colonne; au manchon est articulée une bielle *ij*, commandant à son extrémité, le levier de détente *jl* placé sur une pièce en forme de Y assemblée avec le bâti et qui porte tout le mouvement de la distribution.

L'extrémité *l* du levier de détente, opposée au régulateur, porte deux touches en acier venant se placer au-dessus des parties courbes du levier de déclic. Ces touches ont pour effet de faire basculer les palettes autour de leur axe lorsqu'elles viennent à les rencontrer dans leur mouvement d'oscillation. A ce moment la tige et la bielle qui étaient conduites dans un sens, obéissant à l'action des ressorts, prennent un mouvement rétrograde très-rapide; la lumière d'admission se trouve ainsi fermée presque instantanément et la détente commence.

Les touches rencontrent plus tôt ou plus tard le levier de détente, selon que le manchon est plus ou moins élevé, et l'admission diminue ou augmente; on a ainsi une détente

variable très-rapide et d'une grande précision. Les palettes n'arrivent à commander de nouveau les bielles d'admission qu'au commencement de l'oscillation directe suivante du porte-ressort.

Le manchon du régulateur, du côté de la colonne opposé au levier de détente, porte la tige d'un piston percé de trous, fonctionnant dans un cylindre fixé après cette colonne, et contenant de l'huile. Si le mouvement de la machine vient à s'accélérer, le passage de l'huile à travers les trous détermine, sur le piston, une résistance qui a pour effet de supprimer à très-peu près les oscillations des boules, lesquelles prennent presque immédiatement la position qui convient à la nouvelle vitesse de régime. Pareille chose a évidemment lieu si la vitesse de la machine vient à diminuer.

Les pistons placés sur les tiges qui forment le prolongement des bielles d'admission ont pour effet d'éviter les chocs dans la période de fermeture qui s'opère sous l'action des ressorts vers le fond de leurs cylindres. On a pratiqué, dans le fond de chacun de ces cylindres, une petite ouverture, variable à volonté, au moyen d'un robinet. Dans le mouvement direct, l'air est aspiré sous le piston par cette ouverture ; mais au moment de la fermeture le mouvement de retour est trop rapide pour que l'air introduit puisse en être complétement expulsé pendant la durée de ce mouvement. Il se forme ainsi un matelas élastique qui neutralise en partie l'action du ressort et évite le choc.

Le régulateur est très-ouvert ; les tiges de la machine de 40 chevaux de M. Lecouteux font entre elles un angle moyen de 81° ; la course du manchon n'est que de $0^{m},03$, pour les deux positions extrêmes.

Les diagrammes relevés sur différentes machines Corliss, au moyen de l'indicateur de Watt, et dont nous donnons des spécimens, diffèrent très-peu des diagrammes théoriques résultant de la loi de Mariotte, qui paraît ainsi applicable

à la détente lorsque les cylindres sont munis de chemises de vapeur.

La *fig.* 4 représente les diagrammes relevés sur la machine de la Société du Lys, à Gand; coups de vapeur d'arrière et d'avant; diamètre du piston, $0^m,910$; course, $1^m,680$; nombre de tours par minute, 39; vitesse moyenne du piston, $2^m,184$; échelle des diagrammes, $4^k,250$ par centimètre de hauteur.

Les diagrammes *fig.* 5 ont été pris sur la machine de MM. Le Gravrian, de Lille, coups d'arrière et d'avant; diamètre du piston, $0^m,460$; course, $1^m,070$; nombre de tours par minute, 50; vitesse moyenne du piston, $1^m,78$; même échelle que pour les diagrammes ci-dessus.

Le diagramme *fig.* 6 a été relevé, avec une très-faible admission, sur la machine précédente.

Le jury de l'exposition de l'Institut américain a accordé une première médaille à M. Corliss, à la suite d'un essai sur la machine suivante, qui était à échappement libre :

Diamètre du cylindre.	$0^m,406$
Course du piston.	1 ,070
Nombre de tours par minute.	60
Pression de la vapeur dans le cylindre pendant l'admission.	$5^{atm.},3/4$
Travail de la vapeur sous le piston mesuré à l'indicateur.	$76^{chx},58$
Travail disponible sur l'arbre.	$69^{chx},10$.

soit 90 p. 100 du travail précédent.

L'essai du 6 juin 1875 de la machine de M. Lecouteux a donné les résultats suivants :

Pression dans le générateur.	$5^{atm.},1/2$
Vide du condenseur.	$0^m,69$
Admission, 10/111 de la course.	
Travail sous le piston (moyenne de 12 diagrammes).	$42^{chx},75$
Travail mesuré au frein.	40^{chx},

soit 93 p. 100 du travail précédent.

On voit ainsi que le rendement de la machine Corliss est inespéré, et que l'on peut dire qu'elle réalise la perfection.

Pour terminer, nous allons chercher à établir la relation qui existe entre la loi du mouvement du porte-ressort et celle du mouvement du piston :

Soient ω la vitesse angulaire de l'arbre moteur qui est censé avoir lieu de la gauche vers la droite ;

θ l'angle compris sous la manivelle avec son point mort extérieur ;

$90° + \alpha$ l'angle compris sous la manivelle et l'excentrique, α étant une constante positive ou négative.

Nous supposerons, comme cela a lieu d'ailleurs, que la barre d'excentrique BB' soit assez longue pour que l'on puisse en négliger l'obliquité et que l'on ait

$$o'a = o'a_1,$$
$$o'c = o'c_1,$$
$$ab = a_1b_1,$$

quoique, dans la réalité, le rayon $o'c$ soit un peu plus petit que $o'c_1$.

Enfin, pour éviter toute confusion, nous affecterons respectivement du signe + et du signe — les vitesses circulaires selon qu'elles auront lieu de la gauche vers la droite ou en sens inverse.

La vitesse angulaire instantanée autour du point o' étant

$$(a) \qquad -\omega' = \omega \times \frac{oB}{o'B'} \cos(\theta + \alpha).$$

la vitesse correspondante du point a est

$$-\omega \frac{oB}{o'B'} \times o'a \cos(\theta + \alpha).$$

La vitesse angulaire autour du centre instantané S (point

de rencontre des directions de $o'a$, $o''b$) a donc pour valeur

$$\omega \cdot \frac{oB}{o'B'} \cdot \frac{o'a}{Sa} \cos(\theta + \alpha),$$

et la vitesse du point b

$$(b) \qquad \omega \times \frac{oB}{o'B'} \frac{o'a}{Sa} \cdot Sb \cos(\theta + \alpha).$$

Si l'on mène par le point o' la parallèle $o'k$ à ab jusqu'à sa rencontre k avec la direction de $o''b$, il est facile de voir, par une similitude de triangles, que l'expression (b) peut se mettre sous la forme simple

$$\omega \cdot \frac{oB}{o'B'} bk \cos(\theta + \alpha).$$

On voit enfin que la vitesse de l'articulation g du porte-ressort avec la bielle du distributeur D est

$$(1) \qquad -\omega \frac{oB}{o'B'} \frac{o''g}{o''b} \cdot bk \cos(\theta + \alpha).$$

On reconnaît de la même manière que la vitesse semblable relative au tiroir D_1 a pour valeur

$$(1') \qquad \omega \cdot \frac{oB}{o'B'} \frac{o''g}{o''b} \cdot bk_1 \cos(\theta + \alpha).$$

Les longueurs bk, b_1k_1 varient avec θ suivant une loi compliquée que nous ne chercherons pas à établir; mais comme les déplacements angulaires autour des axes o', o'' sont très-limités, ces longueurs varient peu, et l'on peut, sans erreur sensible, leur substituer leur valeur correspondant à la position moyenne du système articulé.

Nous prendrons, pour cette position moyenne, celle pour laquelle l'excentrique est perpendiculaire à la direction de la tige du piston; les points b et b'_1 devront coïncider pour

cette position (*fig.* 3); nous ferons d'ailleurs en sorte que la bissectrice de l'angle $ao'a$ soit perpendiculaire à $o''b$.

Dans ces conditions, les longueurs moyennes de ok, $o'k_1$ seront égales; soit μ leur valeur. A l'obliquité près de la bielle motrice, les choses se passeront de la même manière dans les deux oscillations du piston. Nous aurons, au lieu des formules (1) et (1′), la formule unique

$$\pm\,\omega\,.\,\frac{oB}{o'B'}\,\frac{o''g}{o''b}\,\mu\cos(\theta+\alpha). \tag{2}$$

Occupons-nous maintenant des soupapes d'échappement. Soient U le centre instantané de la bielle, point d'intersection des directions de $o'e$ et Ee; h le point de rencontre de la parallèle en o' à Ce, avec la direction de Ee. D'après la formule (a) la vitesse de c est égale à

$$-\,\omega'\times O'c=-\,\omega\,.\,\frac{oB}{o'B'}\,O'c\cos(\theta+\alpha),$$

la vitesse angulaire autour de U est par suite

$$\omega\times\frac{oB}{o'B'}\,\frac{o'c}{Uc}\cos(\theta+\alpha),$$

et la vitesse du point e

$$\omega\,.\,\frac{oB}{o'B'}\,\frac{o'c\,.\,Ue}{Uc}=\omega\,.\,\frac{oB}{o'B'}\,he\cos(\theta+\alpha). \tag{3}$$

On trouverait de même, pour la vitesse de e_1,

$$-\,\omega\,.\,\frac{oB}{o'B'}\,h_1e_1\,.\cos(\theta+\alpha). \tag{3'}$$

Si l'on fait en sorte que les valeurs moyennes de he, h_1e_1 aient la même valeur ν, les formules précédentes se réduiront à la suivante :

$$\pm\,\omega\,.\,\frac{oB}{o'B'}\,\nu\cos(\theta+\alpha). \tag{4}$$

Enfin si l'on s'arrange de manière que l'on ait

$$(5) \qquad \nu = \frac{o''g}{o''b}\,\mu,$$

et si l'on pose, pour abréger,

$$r = \frac{oB}{o'B'}\,\nu,$$

les formules (2) et (4) seront comprises dans celle-ci :

$$(6) \qquad \pm\,\omega r \cos(\theta + \alpha),$$

le signe supérieur se rapportant aux distributeurs D et E, et le signe inférieur aux deux autres.

Mais on voit alors que la distribution, en dehors de la période de détente, a lieu comme dans la distribution par un tiroir ordinaire dont la course serait $2r$ et l'angle de calage α; on retombe ainsi sur un problème connu.

Il nous reste maintenant à dire quelques mots sur la détente.

Nous supposons, comme cela a lieu d'ailleurs, que le système articulé du régulateur est un losange.

Lorsque la machine passe de l'état de repos à un état de mouvement permanent, le levier de détente, dont la tige médiane fait toujours un petit angle avec l'horizon, s'abaisse d'une quantité sensiblement proportionnelle à la réduction subie par la diagonale verticale du losange; or cette réduction est égale à une constante diminuée d'un terme proportionnel à l'inverse du carré de la vitesse angulaire de la machine.

La hauteur y de la palette de déclic au-dessus de la tige à conduire est donc de la forme

$$(c) \qquad y = m + \frac{n}{\omega^2};$$

m et n étant des constantes qu'il est facile de calculer par un système donné.

Soit R le rayon de l'arc de la palette de déclic. Le chemin parcouru par le tiroir fictif dont nous avons parlé plus haut, à partir du point mort, est

$$(d) \qquad x = r[\sin(\theta + \alpha) - \sin\alpha].$$

Lorsque la palette de déclic vient buter contre la touche correspondante, on a

$$(x - a)^2 = y(2R - y);$$

a étant la distance de la projection horizontale de la touche à la position qu'occupe l'articulation du porte-ressort avec le déclic pour $\theta = 0$.

Si l'on remarque que le rapport $\frac{y}{2R}$ est toujours une petite fraction, on peut écrire tout simplement

$$x = a + \sqrt{2Ry},$$

ou encore, en ayant égard aux valeurs (c) et (d),

$$(7) \qquad \sin(\theta + \alpha) = \sin\alpha + \frac{a}{r} + \frac{1}{r}\sqrt{2R\left(m + \frac{n}{\omega^2}\right)}.$$

Cette valeur fera connaître la détente

$$(8) \qquad \Delta = \frac{2}{1 - \cos\theta} = \frac{1}{\sin^2\frac{\theta}{2}}$$

correspondant à une vitesse angulaire donnée.

Si l'on s'impose la condition que l'on ait $\Delta = \Delta_0$ pour $\omega = \omega_0$, les équations (7) et (8) établiront une relation entre m, n, R à laquelle on devra satisfaire.

Nous croyons devoir ne pas poursuivre plus loin ces considérations théoriques, quoique le sujet comporte un

certain nombre de questions intéressantes dont la solution présente plus ou moins de difficultés, telle est par exemple celle qui se rapporte au fonctionnement du modérateur à l'huile.

Cette notice n'a pour objet que d'attirer l'attention des ingénieurs et des industriels sur une machine qui, par ses qualités, est appelée à rendre de grands services.

Paris, le 19 février 1876.

N° 36

DE LA SUPPRESSION DES PERTES DANS LES DISTRIBUTIONS D'EAU.

COMPARAISON ENTRE LE SERVICE CONSTANT ET LE SERVICE INTERMITTENT.

NOTE

Par M. DEBAUVE, ingénieur des ponts et chaussées.

M. George Frederick Deacon a présenté en 1875, à la Société des ingénieurs civils de Londres, un mémoire sur la suppression des pertes dans les distributions d'eau et sur le choix à faire entre le service constant et le service intermittent; ce mémoire, et la discussion à laquelle il a donné lieu, ont été publiés par M. James Forrest, secrétaire de la Société des ingénieurs civils (*). Il nous a paru qu'ils renfermaient quelques considérations nouvelles, utiles à exposer.

C'est le but de la présente note.

Des pertes dans les distributions d'eau.

Trois causes de perte se manifestent dans les distributions d'eau :

1° Il existe des pertes continues et cachées provenant de l'état défectueux des tuyaux, réservoirs et appareils souterrains.

(*) On the systems of constant and intermittent water supply and the prevention of waste, with special reference to the restoration of the constant service in Liverpool, by George Frederick Deacon, with an abstract of the discussion upon the paper, edited by James Forrest, assoc. inst. C. E. Secretary.

2° Il y en a d'autres, des pertes discontinues, qui tiennent à la mauvaise installation et au défaut d'entretien des appareils placés au-dessus du sol, ou qui proviennent de ce que trop souvent on laisse ouverts des robinets, sans employer l'eau qui s'en échappe.

3° La dernière cause des pertes est le gaspillage que font de l'eau ceux qui s'en servent. Il est difficile de faire disparaître cette dernière cause; chercher à introduire de la parcimonie dans la consommation de l'eau est chose répréhensible, et il importe à la salubrité comme à la santé publique, que l'on puisse même abuser de l'eau pour les usages domestiques.

Il existe dans beaucoup de distributions d'eau des pertes considérables dues aux deux premières causes. M. Whitney, ingénieur de Cambridge (Massachusetts), signalait dans ces dernières années la diminution notable de la quantité d'eau distribuée à Cambridge. Des observations furent faites à l'aide de siphons et de manomètres; elles avaient lieu le matin, alors que la consommation est presque nulle. On trouva des fuites nombreuses et considérables qui furent rapidement étanchées; aussitôt, et sans agrandissement de la conduite maîtresse, on obtint un surcroît de charge de 10m,67 et l'on put assurer l'alimentation de chaque maison. On reconnut que bien des fuites laissaient perdre 4 à 5 mètres cubes par heure.

Bien que la pose des tuyaux soit généralement effectuée avec soin dans nos grandes villes, il doit exister dans les canalisations en tranchées beaucoup de fuites du genre de celles que nous venons de signaler. Ces fuites peuvent exister longtemps sans qu'on s'en aperçoive, car l'eau ne paraît à la surface qu'autant que c'est de ce côté qu'elle trouve la voie d'écoulement la plus facile.

On peut se rendre compte de l'influence d'une faible fuite au moyen du calcul suivant :

Soit un trou carré de 1 millimètre de côté sur lequel

s'exerce une charge de 16 mètres; l'eau en sortira avec une vitesse égale à quatre fois $\sqrt{2g}$ ou à 17 mètres, le débit, avec le coefficient de contraction 0,6, sera environ 1 centilitre à la seconde, soit 864 litres en 24 heures; s'il existe dans une canalisation un millier de fuites de ce genre, c'est une perte quotidienne de 864 mètres cubes.

D'après M. Deacon, sur 100 litres d'eau passant en 24 heures dans un tuyau de service, 35 litres sont consommés par les pertes continues et cachées, 35 litres par les pertes superficielles et discontinues et 30 litres seulement sont utilisés; il s'agit, il est vrai, des distributions d'eau anglaises dans lesquelles le service public est insignifiant, tandis que le service privé est très-considérable. Mais, comme ce dernier tend sans cesse à augmenter en France, la proportion ira de même en s'accroissant.

COMPTEUR DES PERTES EMPLOYÉ A LIVERPOOL.

Lorsqu'il s'agit de supprimer les pertes, une première difficulté se présente, c'est d'en reconnaître la valeur et la position.

M. Deacon y est arrivé au moyen de l'appareil représenté par la *fig.* 9, Pl. 17, appareil que nous appellerons un compteur des pertes (*) (*waste water meter*).

Il enregistre à la fois la durée et le volume de l'écoulement qui se fait dans un tuyau, et fournit un diagramme analogue à celui que donne, pour un cylindre à vapeur, l'indicateur de Watt, lequel enregistre la pression et l'espace parcouru par le piston.

L'eau arrive par le conduit A et s'écoule par le tuyau de service B en traversant l'appareil.

(*) Cet appareil est basé sur le même principe que la jauge piézométrique Chameroy, dont M. l'inspecteur général Belgrand a donné la description aux *Annales des ponts et chaussées* de 1870.

C est un tuyau tronc-conique ou tuyau de jauge, dans lequel se meut un disque horizontal D dont le diamètre est égal à celui de la base supérieure du tronc de cône; lorsque le disque est au niveau de cette base, l'obturation du tuyau de jauge est complète et l'écoulement de A en B est nul. A mesure que le disque descend, la couronne annulaire comprise entre sa circonférence et la paroi du tuyau tronc-conique augmente, et le volume d'eau passant de A en B s'accroît aussi.

En E est un siége qui arrête le disque lorsqu'il est arrivé au bas de sa course.

Le disque est guidé par la tige verticale creuse F, passant à frottement doux dans la gaîne G. Au sommet de la tige F s'attache une ficelle IL qui vient passer sur une poulie H et se termine par un contre-poids M. A la corde IL est fixé le chariot K, guidé verticalement, et ce chariot porte un crayon maintenu en contact avec une feuille de papier recouvrant le cylindre P.

Ce cylindre effectue une révolution complète en 24 heures; il est actionné par un mouvement d'horlogerie O qui peut marcher sept jours sans être remonté.

Le petit tuyau Q livre passage à la faible quantité d'eau qui pénètre dans l'appareil en remontant entre les tiges G et F et en traversant l'obturateur J.

La boîte R de l'appareil est fixée sur sa base en W au moyen de ciment de Portland; elle est fermée hermétiquement par le couvercle T, et le tout est mis à l'abri sous une plaque de fonte striée U qui fait dalle de trottoir.

Voici maintenant le fonctionnement de l'appareil :

Lorsque l'écoulement est nul de A en B, le disque est au sommet du tube tronc-conique, et le crayon, qui exécute les mêmes oscillations que le disque, est lui-même aussi élevé que possible; il décrit une section droite du cylindre P.

Si l'on détermine un écoulement de A en B, ou, ce qui

revient au même, un appel de B sur A, la surface supérieure du disque est pressée par l'eau qui s'écoule; il s'abaisse en laissant libre à son pourtour une surface annulaire qui s'accroît à mesure que le disque descend; or, il existe une vitesse de l'eau, et une seule, pour laquelle la pression exercée sur la face supérieure du disque est équilibrée par le contre-poids M; à ce moment l'équilibre s'établit et le disque reste immobile. Si l'écoulement augmente, il y a tendance à accroissement de vitesse, le disque descend encore jusqu'à ce qu'il ait démasqué une surface annulaire plus grande, capable de livrer passage au nouveau volume d'eau tout en maintenant la vitesse normale à laquelle correspond l'équilibre du disque. Inversement, si l'écoulement diminue, la vitesse se ralentit, le contre-poids M fait remonter le disque jusqu'à ce que la surface annulaire soit suffisamment rétrécie pour que la vitesse normale se rétablisse.

Ainsi, le disque est soumis à une pression constante; la vitesse moyenne des filets liquides qui le choquent est donc elle-même constante, et l'on peut admettre, sans grande erreur, que la vitesse moyenne des filets liquides qui passent autour de lui, dans la surface annulaire d'écoulement, est elle-même constante.

Donc le volume d'eau qui coule de A en B est proportionnel à la surface annulaire existant entre le pourtour du disque et la paroi du tube tronc-conique. Si l'on désigne par r le rayon du disque, par k la largeur de la surface annulaire, cette surface est égale à

$$2\pi\left(r + \frac{k}{2}\right)k = 2\pi rk + \pi k^2.$$

Le rayon r du disque ayant une valeur incomparablement plus grande que celle de k, on peut se contenter de prendre pour l'expression de la surface d'écoulement la quantité $2\pi rk$.

Ainsi cette surface est proportionnelle à k, et, comme

l'épaisseur *k* de la couronne annulaire est proportionnelle à la quantité dont le disque s'est abaissé dans le tuyau tronc-conique, quantité qui est mesurée par le déplacement vertical du crayon, il en résulte que les déplacements verticaux de ce crayon sont proportionnels aux variations du volume d'eau qui coule de A en B.

Le crayon décrit sur le cylindre P une courbe dont les abscisses sont proportionnelles au temps et les ordonnées proportionnelles au volume de l'eau qui s'écoule à chaque instant. Donc l'examen de la courbe permet de recomposer toutes les phases de l'écoulement qui se trouvent ainsi enregistrées d'une manière automatique.

Pour obtenir des déplacements verticaux exactement proportionnels aux surfaces annulaires d'écoulement, il faudrait adopter, non pas un tuyau tronc-conique, mais un tuyau profilé suivant des courbes du second degré, ce qu'il est facile de faire.

En réalité, l'approximation précédente est suffisante, et l'on peut s'en contenter.

Le papier enroulé sur le cylindre P, de $0^{m},152$ de diamètre, est divisé par vingt-quatre lignes verticales en vingt-quatre espaces dont chacun est traversé en une heure par le crayon; il est divisé par des lignes horizontales en soixante-deux bandes horizontales, et la hauteur de chacune correspond à un écoulement de 100 gallons ou de 454 litres par heure, de sorte que l'appareil permet de mesurer un écoulement de 28.148 litres à l'heure.

Il va sans dire que l'on gradue l'appareil par des expériences directes en agissant sur le contre-poids M.

USAGE DU COMPTEUR DES PERTES.

La ville est partagée en districts à chacun desquels correspond un compteur des pertes interposé entre la conduite principale et la conduite de service, ainsi qu'il a été expli-

qué au paragraphe précédent. C'est en considérant la consommation et le nombre d'habitants qu'on fait la division en districts; l'amplitude du district est limitée par la puissance du compteur, qui ne peut débiter plus de 28.148 litres à l'heure.

A l'origine de l'établissement du service, les pertes étaient très-considérables; depuis que fonctionne le service pour la suppression des pertes, elles ont énormément diminué, et l'on a pu réunir ensemble plusieurs districts.

Au 10 avril 1875, Liverpool comptait 120 districts; la population contrôlée était de 306.912 habitants et la population moyenne d'un district, de 2.557 habitants.

A chaque district correspond un compteur des pertes.

On a commencé par déterminer la consommation quotidienne, alors que le service intermittent fonctionnait seul; puis on a établi le service constant sans rien faire pour supprimer les pertes, et l'on a déterminé la consommation au moyen des diagrammes. Les diagrammes de sept jours consécutifs étaient marqués sur le cylindre.

On établit ensuite à chaque branchement un robinet d'arrêt, robinet à vis, fixé avec le plus grand soin, et l'on fit le recensement exact des habitants du district, ainsi que de tous les appareils de distribution. Ce recensement fut inscrit sur des tableaux détaillés. Ce travail fait, on commença l'importante opération des inspections de nuit. C'est aux inspections de nuit que tient tout spécialement le succès du système.

Le directeur examine les diagrammes et conclut de cet examen quels sont les districts où il y a le plus d'économie à faire; il les désigne pour être visités la nuit suivante, et dans cette prévision l'inspecteur change le papier enroulé sur le cylindre du compteur.

A partir de 11 heures du soir, les agents de l'inspection s'en vont par couple et procèdent comme il suit : chaque homme prend un côté de la rue, lève les couvercles des

robinets et visite ces robinets un par un pour voir si l'eau passe dans les propriétés riveraines. L'homme applique la clef sur la tête du robinet et met son oreille en contact avec la clef; s'il ne perçoit aucun son, c'est que l'eau ne passe pas; au contraire, si l'eau passe, elle détermine dans la clef une trépidation et un bruit que l'oreille perçoit et dont l'intensité permet de juger de la valeur de l'écoulement.

Cette opération se fait le robinet étant ouvert; on le ferme ensuite et l'on voit si le bruit persiste, auquel cas la perte a lieu par la conduite de la rue; en comparant alors les bruits produits au passage de plusieurs robinets successifs, on arrive à déterminer celui qui est le plus près de la fuite; les agents auscultent, pour ainsi dire, les dalles et les bordures du trottoir et arrivent en bien des cas à déterminer la position du défaut.

On note avec soin l'heure à laquelle ont été fermés les robinets où des pertes ont été constatées.

D'un autre côté, le compteur enregistre automatiquement les pertes; l'examen du diagramme permet au directeur de déterminer, à quelques minutes près, l'époque à laquelle les inspecteurs de nuit ont commencé leur travail ou quitté le district; il lui permet de connaître en outre, par comparaison avec le tableau des opérations de la nuit, la position et la valeur des fuites les plus importantes.

A 6 heures du matin, les agents de l'inspection rentrent et remettent leur rapport de la nuit; copie de ce rapport est donnée à l'inspecteur de jour, qui part à 9 heures du matin, accompagné d'un ouvrier pour fouiller le sol et rechercher les fuites, et s'occupe de fixer les causes des pertes signalées. Proviennent-elles des tuyaux et appareils privés, sommation est faite aux propriétaires de réparer ou de renouveler ces tuyaux et appareils. Proviennent-elles, au contraire, du système public, la Compagnie des eaux s'empresse de remédier au mal.

Les fuites qui pourraient exister sur les principaux tuyaux

de distribution sont relevées par le diagramme qu'on obtient en fermant tous les robinets d'arrêt des propriétés privées. Si le crayon trace une ligne horizontale, c'est l'indice de fuites constantes dont la valeur se trouve mesurée; si, au contraire, le crayon éprouve des oscillations verticales, c'est qu'il existe sur le tuyau des branchements cachés, non munis de robinets d'arrêt.

Par l'auscultation de nuit et par une recherche attentive, on arrive assez vite à préciser l'emplacement des pertes; si quelque difficulté se présente, on examine avec soin les égouts, et l'existence de suintements à travers les maçonneries donne de précieuses indications sur la position des fuites.

Le prix d'application du système du compteur des pertes s'est élevé à 360 francs par mille personnes dans les districts où les robinets d'arrêt étaient déjà établis.

RÉSULTATS OBTENUS A LIVERPOOL.

En 1858, on établit dans toute la ville de Liverpool une distribution d'eau avec service constant, distribution qui paraissait calculée sur d'assez larges bases pour satisfaire à la consommation croissante pendant de longues années. En 1865, on se vit forcé de supprimer le service constant et de réduire, dans toute la ville, la durée de l'alimentation d'abord à 12 heures, puis à 7 heures et enfin à 3 heures par jour; cependant, la consommation moyenne par tête et par jour atteignait 102 litres, non compris les prises d'eau industrielles.

On chercha à accroître la quantité d'eau disponible, mais il fallut néanmoins substituer au service constant le service intermittent, c'est-à-dire alimenter les quartiers les uns après les autres, tout en réduisant le nombre des heures de service.

Cependant on avait institué des inspecteurs de jour qui

procédaient à des visites domiciliaires régulières; le nombre de ces inspecteurs allait toujours croissant, mais, bien que leur influence fût réelle, ils ne parvinrent pas à améliorer sensiblement la situation.

Au contraire, l'amélioration fut immense lorsqu'on eut recours aux inspections de nuit. Elles présentent plusieurs avantages : 1° elles ne se font pas dans tous les districts, sans distinction, mais seulement dans ceux où le compteur des pertes a montré que le mal était le plus grand; 2° elles n'ont jamais lieu que dans des districts où l'on est certain qu'il existe des fuites, et il n'y a pas de temps ni d'activité de perdus; 3° elles permettent de découvrir les fuites cachées et continues, c'est-à-dire celles qui sont de beaucoup les plus importantes, et que l'inspection domiciliaire de jour est impuissante à découvrir. Dans certains districts, alors que l'inspection de jour la plus rigoureuse avait réduit la consommation par tête et par jour de 93 litres à 78, l'inspection de nuit, substituée à la première, a abaissé la consommation à 46 litres; c'est une économie de moitié.

La méthode du compteur des pertes permet encore de procéder à coup sûr au renouvellement des tuyaux de service; il y a des villes anglaises où il existe des tuyaux de toute espèce, depuis le tuyau de bois primitif jusqu'au tuyau de fonte perfectionné, et l'on a l'habitude de consacrer chaque année une certaine somme au renouvellement des tuyaux, en commençant par les plus vieux. Cette méthode est vicieuse, car elle conduit à remplacer des tuyaux qui peuvent encore être en bon état, tandis qu'on laisse en place des tuyaux qui, quoique neufs, sont brisés ou fendus. Ces mécomptes ne sont pas possibles avec l'emploi judicieux du compteur des pertes, qui décèle les tuyaux défectueux, ceux qu'il est réellement utile de remplacer.

Les chiffres suivants montreront bien tout le progrès réalisé par le système du compteur des pertes :

DÉSIGNATION du district.	POPULATION.	CONSOMMATION MAXIMA PAR TÊTE ET PAR JOUR (en litres)				
		AVANT L'INTRODUCTION du compteur,			DEPUIS L'APPLICATION du système,	
		avec le service intermittent.	avec le service constant.	de 1 h. à 5 h. du matin (rapportée à 24 heures).	avec le service constant.	de 1 h. à 5 h. du matin (rapportée à 24 heures).
		litres.	litres.	litres.	litres.	litres.
Cottages de dernière classe, 8 à 13 livres de loyer, peu de magasins.	2062	88	135	109	40	21
Cottages, peu de magasins et de maisons à cour, loyer de 13 à 22 livres. .	1778	108	151	112	50	27
Maisons de 1[re] classe, 60 à 200 livres de loyer.	1858	77	89	72	60	39,5
Maisons à cour, magasins, quelques cottages.	2337	82	130	85	54	23

Ce tableau n'a pas besoin de commentaires; les pertes absorbaient autrefois les trois quarts de la consommation totale; aujourd'hui la consommation totale est réduite de plus de moitié et le volume des pertes est, dans certains cas, réduit au cinquième de ce qu'il était autrefois.

Les progrès peuvent être poussés plus loin encore.

La consommation utile par tête et par jour n'est que de 20 litres; dans ce chiffre n'entrent pas les prises d'eau industrielles, ni le service public, qui est fort peu étendu en Angleterre.

Comparaison entre le service constant et le service intermittent.

On sait qu'il existe entre la France et l'Angleterre, sous le rapport des distributions d'eau, de grandes différences.

Dans son rapport sur l'exposition de 1867, M. l'ingénieur en chef Huet s'exprimait ainsi :

« L'Angleterre ne se préoccupe toujours que du service privé et, à part quelques fontaines publiques pour puisage, on n'y trouve encore que la bouche à incendie.

« Paris, que nous avons déjà signalé comme un modèle, relativement à l'ampleur avec laquelle il a compris pour le présent et prévu pour l'avenir la question de son alimentation, se distingue encore par l'installation du service privé.

« Dans les principales villes d'Angleterre et des États-Unis, ce service présente une importance bien plus considérable par suite d'habitudes qui ne pénètrent que lentement et difficilement parmi nous; mais son organisation n'y est pas comparable.

« A Londres, rien de plus simple, mais aussi rien de moins satisfaisant. Le service ne se fait que successivement et par quartier, pendant deux heures sur vingt-quatre. Il faut, pendant ce temps, que chaque maison fasse son approvisionnement, remplisse son réservoir. L'approvisionnement se fait seul, il est vrai, le trop-plein s'écoule naturellement à l'égout; mais si, par suite de besoins exceptionnels, le réservoir se vide avant la fin de la journée, il faut attendre au lendemain.

« A Paris, le réseau complet de la distribution doit être constamment en service, et chaque maison a sa prise d'eau sur la conduite de la rue. »

Les ingénieurs anglais comprennent bien les immenses avantages du service constant; mais en bien des cas ils ne peuvent l'appliquer parce qu'il entraînerait une trop grande consommation d'eau. Non pas que la consommation pour les usages domestiques augmente sensiblement par le fait du service constant, mais c'est la consommation par les pertes. Supposons qu'en 24 heures, celles-ci soient la moitié de la consommation totale; si chaque tuyau n'est en charge que pendant 2 heures, la perte est réduite au douzième de ce qu'elle était; elle n'est plus égale qu'à 9 p. 100

de la consommation utile, au lieu d'atteindre 50 p. 100.

Telle est la seule cause qui empêche presque toujours de substituer le service constant au service intermittent.

M. Deacon a signalé d'autres défauts graves inhérents au service intermittent et à l'installation défectueuse d'un grand nombre de distributions d'eau : il est intéressant de signaler ces défauts.

Dans le service intermittent, lorsqu'un district n'est plus en charge, l'eau contenue dans les tuyaux s'échappe peu à peu par les fuites qui existent aux points bas ; cette eau est remplacée par de l'air provenant des égouts et des drains et quand on met de nouveau en service le réseau considéré, la première eau est chargée de gaz infects et dangereux.

Dans les districts pauvres, le lavage des water-closets se fait par un tuyau détaché du branchement d'alimentation et commandé par le même robinet ; pendant les intermittences de service on ne peut laver les drains, et de plus les tuyaux se remplissent d'un air putride aspiré par le tuyau des cabinets.

Le service intermittent exige que des approvisionnements d'eau soient ménagés dans des réservoirs ou des citernes ; il arrive, dans des quartiers pauvres, que ces réservoirs sont insuffisants pour la consommation totale, ou qu'ils se trouvent dans le voisinage des cabinets, ou encore que leur tuyau de trop-plein est en communication directe avec l'égout. Il existe de ces réservoirs qui sont découverts et servent de réceptacle aux matières animales, qui sont exposés directement aux rayons du soleil et remplis de végétations organiques. L'eau qui provient de pareilles sources, et qu'on emploie pour la cuisine ou les usages domestiques, doit avoir sur la santé publique les conséquences les plus funestes.

Avec le service constant, ces inconvénients n'existent pas.

Les pertes elles-mêmes, dont le consommateur s'inquiète

peu, ne sont pas sans danger sur la salubrité publique. Elles pouvaient l'être autrefois, lorsque les distributions d'eau se trouvaient à l'état rudimentaire, mais, avec l'extension qu'elles ont prise, les pertes entraînent non-seulement une dépense inutile, mais de sérieux inconvénients. Dans tous les vieux quartiers de Liverpool, dit M. Deacon, même pendant un été sec, bien que le sous-sol soit drainé, les caves et la terre à l'entour sont, dans beaucoup de cas, complétement saturées par l'eau destinée à l'alimentation de la ville. L'eau ainsi accumulée finit quelquefois par se frayer un passage vers l'égout; mais alors elle compromet la solidité des maçonneries, et elle est sans avantage pour le lavage des drains et des égouts : car un flot de quelques litres d'eau lancé dans un tuyau sale est incomparablement plus efficace qu'un petit écoulement continu.

Le système proposé supprime les pertes d'eau et leurs inconvénients, que nous venons d'exposer; il permet d'établir le service constant, et c'est un immense bienfait pour les populations. Il réalise une économie considérable sans restreindre les usages utiles; il permet d'abaisser le prix de l'eau, d'en réserver une plus grosse part pour l'industrie et pour les services publics, et d'installer dans chaque maison un courant continu, pur et limpide, qui apporte avec lui la propreté et la santé, deux grands ennemis de la misère et du vice.

N° 37

RAPPORT

ADRESSÉ A LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD

SUR LA NOUVELLE GARE MARITIME D'ANVERS

ET

SUR LES APPAREILS HYDRAULIQUES DE MANUTENTION

Par M. SARTIAUX, ingénieur des ponts et chaussées,
Ingénieur adjoint de l'exploitation du chemin de fer du Nord.

Depuis de longues années la compagnie du chemin de fer du Nord a mis à l'étude la question de la manutention dans les gares par les engins mécaniques.

Le développement du port d'Anvers ayant décidé l'administration des chemins de fer de l'État belge à remanier la grande gare maritime de cette ville, dite Station principale, et à y dépenser près de 1 million pour les installations d'engins hydrauliques, j'ai été chargé d'aller visiter ces installations.

Dans ce but, je me suis rendu à Anvers, accompagné de M. Soletti, inspecteur principal de la compagnie du Nord, ancien chef des gares de la Chapelle, très au courant de toutes les questions concernant la manutention dans les gares.

M. Gobert, ingénieur en chef du matériel de l'administration des chemins de fer de l'État, à Bruxelles, auquel m'avait adressé M. Fassiaux, le directeur général, m'ayant mis à même de visiter en détail les installations nouvelles, il m'a été possible de me rendre compte des résultats obtenus.

Les conclusions des observations que j'ai faites ayant paru de nature à intéresser un certain nombre de nos cama-

rades qui s'occupent de questions de chemins de fer, j'en ai fait un court résumé, afin qu'il puisse trouver place dans les *Annales*.

Description sommaire des installations faites à Anvers.

Avant la guerre de 1870-71 le port d'Anvers progressait avec lenteur; aussitôt que la guerre eut fermé les ports français, les marchandises à destination de la Suisse, de la Belgique, de l'Allemagne et même du nord et de l'est de la France, prirent le chemin d'Anvers, et le mouvement de ce port, inférieur en 1870 à 1.900.000 tonneaux, parvint rapidement à 2 millions et demi, même aujourd'hui à plus de 3 millions de tonneaux.

Afin de répondre aux besoins de ce mouvement extraordinaire et pour retenir même le trafic qui en résultait, la ville d'Anvers et l'administration du chemin de fer de l'État belge furent amenées à faire au port et à la gare d'Anvers des modifications et même des remaniements considérables.

La ville décida l'exécution de près de 30 millions de travaux consistant en creusements ou allongements de bassins, rectifications de quais, etc..., et l'État belge fit procéder à l'installation de la gare maritime extérieure et de ses accessoires moyennant une dépense de près de 3 millions.

Quand on jette les yeux sur le plan d'Anvers, on voit se détacher par un double raccordement, à 750 mètres environ de l'extrémité de la gare centrale des voyageurs, une ligne spéciale de $3^k,3$ de longueur, dite ligne de ceinture, aboutissant à une grande gare de triage, dite gare de Stuyvenberg, et de là à la station principale des marchandises, reliée aux voies placées sur les quais de l'Escaut et sur ceux des bassins dits : bassins du canal, bassin de la Campine, bassin aux bois, bassin du Kattendyk, grand bassin et petit bassin.

C'est une disposition qui, par sa double entrée et le voisinage des voies publiques qui rejoignent, traversent ou

séparent les deux gares, fait songer involontairement aux gares de la Chapelle avec leur « goulot » au pont Marcadet et à la rue d'Aubervilliers.

La gare de Stuyvenberg et la Station principale, séparées seulement par le passage à niveau de la route de Breda, qu'on est d'ailleurs en train de supprimer, forment ensemble la gare maritime, dont le développement, non compris celui des voies, des bassins et de l'Escaut, est d'à peu près 30 hectares, soit la moitié de la surface des gares de la Chapelle pour un trafic qui est à peu près aussi la moitié du trafic de cette gare.

La station principale (*) a été la gare choisie pour l'installation des appareils hydrauliques de sir Armstrong. Cette station, dont une portion du plan est ci-joint, renferme une très-belle halle couverte de 200 mètres de longueur et de 70 mètres de largeur, où pénètrent deux voies charretières de 10 mètres de largeur desservant quatre quais étroits de 7 mètres, que bordent de l'autre côté des voies ferrées. Les quais sont coupés transversalement par quatre traversées rectangulaires, avec files de plaques, près desquelles, sur les voies ferrées, sont installés douze cabestans hydrauliques et douze cabestans de renvoi. Sur les quais eux-mêmes sont établis vingt-huit grues hydrauliques de 1.000, 1.500 et 2.000 kilog.

A l'extérieur de la halle sont établis, sur les quais découverts, 16 autres grues hydrauliques : 5 de la force de 1.000 kilog. 3 de la force de 1.500 kilog., 1 de la force de 2.000 kilog., 4 de la force de 5.000 kilog., et enfin 3 de la force de 10.000 kilog.

Enfin, toujours à l'extérieur de la halle, sont établis 12 cabestans simples et 26 autres galets de renvoi ou poulies folles, à l'aide desquels et d'un câble, on peut tourner les wagons sur les plaques tournantes ou les faire avancer

---

(*) Voir Pl. 18.

sur les voies, au nombre de six, à la vitesse de 60 mètres par minute.

Ces grues et cabestans sont mis en mouvement de la manière suivante :

Dans un bâtiment spécial, situé assez loin de la gare, sont installées deux machines à vapeur horizontales, à haute pression et à détente, d'une force totale de 75 chevaux-vapeur effectifs, pouvant travailler simultanément ou isolément et actionnant directement deux corps de pompes foulantes à piston plongeur, capables de comprimer l'eau à 50 atmosphères et de décharger à cette pression 708 litres d'eau par minute.

A l'aide des machines et de ces pompes, l'eau tirée d'un réservoir de plus de 25 mètres cubes est jetée dans un accumulateur Armstrong où, comprimée à 50 atmosphères, elle soulève un piston de $0^m,43$ de diamètre et de $5^m,20$ de course, lesté avec un poids de sable de plus de 71.000 kilogrammes.

Ce piston lesté, livré à lui-même, exécuterait en descendant de toute sa course un travail de 370.000 kilogrammètres environ. Il constitue donc une sorte de réservoir de force où, jusqu'à concurrence de 370.000 kilogrammètres, est accumulée la puissance dynamique produite par la machine à vapeur. De là le nom d'*accumulateur* donné à cet appareil ingénieux, imaginé par sir Armstrong. On conçoit parfaitement que si l'on adapte à cet accumulateur une canalisation de 1 kilomètre par exemple, cette canalisation dépensera à son extrémité chaque litre d'eau perdu par l'accumulateur, et que ce litre d'eau sera susceptible de produire, à l'extrémité de la canalisation, un travail égal au travail exécuté par le litre de l'accumulateur effectuant sa descente.

En un mot si, par exemple, le piston lesté de 71.000 kilog., produit un travail de 71.000 kilogrammètres en descendant de 1 mètre et en perdant 145 litres d'eau, ce

travail (en négligeant les pertes par frottement dans la canalisation) de 71.000 kilogrammètres, pourra être reproduit par les 145 litres sortant de la canalisation et être utilisé pour faire manœuvrer des grues, des cabestans, etc...

En effet, de l'accumulateur dont il a été parlé plus haut, part une canalisation de $0^m,10$ (4 pouces) de diamètre, d'où se détachent des conduites de $0^m,076$ et $0^m,06$ (3 pouces et 2 pouces et demi) amenant l'eau motrice à de petites pompes à eau, qui mettent en mouvement les grues et les cabestans.

Telle est sommairement la description des belles installations hydrauliques de la gare d'Anvers, faites avec un soin et un talent remarquables par les ingénieurs belges, sous la direction de M. Gobert. En fait, lors de notre visite, fonctionnaient seules les grues de la grande halle, grues de 1.000, 1.500 et 2.000 kilog.; les grues de 10.000 kil. ne fonctionnant que très-accidentellement et les wagons continuant, provisoirement, à être manœuvrés avec des chevaux ou par des hommes.

Examen de la valeur des installations hydrauliques.

Quelle est la valeur économique de ces installations ?

Quand on entre dans la grande halle d'Anvers et que l'on voit une grue décharger un camion accostant le quai et chargé de balles de coton ou de fûts de pétrole, afin de les faire passer du camion dans un wagon découvert, on est frappé de la facilité et de la rapidité avec lesquelles s'exécute cette opération, que pourrait conduire un enfant en faisant mouvoir des leviers de petite dimension. Mais ce sentiment se modifie lorsqu'on examine la question de plus près.

Le chargement ou le déchargement sont faciles dans un wagon découvert, mais ils deviennent moins commodes dans des wagons couverts, au fond desquels il faut fouiller ou pousser la marchandise; il est quelquefois nécessaire

alors de combiner la grue avec la brouette, et l'on allonge l'opération de telle sorte qu'il devient souvent presque aussi court de terminer à la brouette la manutention commencée avec elle.

L'opération du chargement ou du déchargement est bien moins facile encore quand les marchandises sont difficilement saisissables à la grue et qu'il s'agit de caisses offrant peu ou pas de prise. Enfin, comme il arrive presque toujours dans nos gares qui sont, de par notre cahier des charges, de véritables docks ou entrepôts, où les destinataires laissent séjourner la marchandise, que deviennent les avantages du déchargement à la grue hydraulique quand il s'agit simplement de mettre la marchandise du camion ou du wagon sur le quai ou inversement ? Il faut le reconnaître, avec les wagons couverts qui entrent dans la composition de notre matériel et de celui des autres compagnies, avec notre législation et les habitudes du public français, les avantages de rapidité du système hydraulique s'amoindrissent singulièrement. Ils deviennent presque nuls lorsque les wagons ne dégagent pas rapidement les voies sur lesquelles ils se trouvent, soit que celles-ci soient trop longues, soit que les wagons soient manœuvrés trop lentement à la main ou avec des chevaux.

A Anvers, ainsi que je le disais plus haut, les cabestans destinés à actionner les wagons ne sont pas jusqu'à ce jour utilisés. Cette situation tient à plusieurs causes : la première, qui n'est pas la moins importante, est l'inexpérience et surtout l'inaptitude des ouvriers; la seconde tient à une circonstance toute spéciale qui ne laisse pas que de préoccuper les ingénieurs belges.

Quand on compare les conditions climatologiques de Londres et des villes maritimes d'Angleterre, où fonctionne le système hydraulique avec celles de Paris, de la Belgique et surtout de certaines parties du nord de la France, on est frappé de ce fait, que si la moyenne des températures

d'hiver varie peu, les températures extrêmes ont, au contraire, de très-grands écarts qui atteignent quelquefois jusqu'à 8 et 10 degrés. Ce sont des écarts qui sont peut-être suffisants pour paralyser, à certains jours, dans nos climats, le système hydraulique qui fonctionne en Angleterre sans accident.

A Anvers, pour parer cette éventualité, on a placé les conduites à $1^m,50$ au-dessous du sol, et dans les cuves où aboutissent les canalisations et où sont placées les petites pompes à eaux, on a établi de petits becs brûlant un mélange de gaz oxygène et de gaz d'éclairage, dont la chaleur doit combattre l'effet de la gelée. Ces précautions sont-elles de nature à prévenir des congélations provenant de froids de 18 à 20 degrés comme il s'en rencontre de temps en temps? J'ai tout lieu de le croire; mais l'expérience seule résoudra définitivement la question.

En admettant que l'influence de la gelée sur les appareils hydrauliques eux-mêmes soit facilement combattue, il reste, sous nos climats à températures extrêmes un peu excessives, des inconvénients ou au moins des difficultés qui ne laissent pas que d'être assez graves. L'expérience de tous les jours dans nos gares, nous montre qu'en hiver les plaques tournantes sont d'une manœuvre très-difficile. La puissance des grandes gares, comme celle de la Chapelle, est singulièrement réduite lorsque la gelée et la neige viennent empêcher ces plaques de tourner, et il y a quelques jours à peine, nous voyions 4 et 6 chevaux attelés avec des hommes à des plaques tournantes, faire tourner difficilement les plaques et les wagons qu'elles supportaient. Or, le cabestan hydraulique, dont l'effort brutal ne peut être modéré comme celui des hommes ou des chevaux, eût très-certainement vaincu la résistance, mais en même temps il eût très-probablement brisé la plaque. C'est cette considération qui, à Anvers, a empêché, quant à présent, d'utiliser les cabestans hydrauliques. Peut-on obvier à ces

inconvénients ? Il est à peu près certain qu'avec des plaques parfaitement équilibrées, placées dans d'imposantes cuves en maçonnerie, qu'avec peut-être des plaques tournantes à galets sphériques, comme il en existe eu Allemagne, etc., on pourrait réduire beaucoup tous ces dangers, mais il n'en est pas moins certain aussi qu'avec notre matériel actuel, le système hydraulique prête le flanc, à ce point de vue, à d'assez grosses objections.

Enfin, examinons la valeur économique des engins hydrauliques au point de vue de la dépense et du rendement, cherchons à évaluer dans quelle proportion est, en général, utilisé l'effort produit par les machines motrices.

Prix de revient de la manutention avec les grues hydrauliques.

Prenons, par exemple, une grue de la force d'une tonne, dont le prix d'établissement, à Anvers, a été de 3.900 francs.

Les frais d'exploitation de cette grue sont les suivants :

	fr. c.
Intérêt et amortissement du prix d'acquisition de la grue; entretien, huile pour graissage, nettoyage, soit par jour. .	1,90
Part d'intérêt et d'amortissement du capital de premier établissement des machines à vapeur motrices de la canalisation, etc., en un mot, de l'installation commune à toutes les grues; part de l'entretien, part du combustible, du mécanicien, etc., soit par jour.	20,60
Salaire de 3 hommes (homme de la manœuvre de la grue et 2 arrimeurs), à raison de 3f,50 chacun, soit par jour. . . .	10,50
Total.	33,00

En établissant le prix de revient de la manutention pour une grue de cette nature, dans l'hypothèse d'un travail à pleine charge, sans interruption pendant 10 heures par jour, à raison d'une manœuvre toutes les deux minutes, on voit que la grue pourrait théoriquement décharger par jour 300 tonnes de marchandises, de telle sorte que le prix de revient théorique de la tonne manutentionnée ne serait pas

de plus de 0f,11. Les ingénieurs belges ont admis que la grue d'une tonne, au lieu de soulever, comme elle le pourrait, les poids de 1.000 kilog., ne soulèverait en moyenne que 500 kilog. à chaque manœuvre, que les arrimeurs, ne pouvant suivre la rapidité de la grue, mettraient, au lieu de 2 minutes, 3 minutes pour effectuer chaque mouvement de chargement ou de déchargement, et ils en ont conclu que le prix de revient de la tonne, chargée ou déchargée, ne dépasserait pas $0^f,11 \times 2 \times \frac{3}{2}$ ou $0^f,33$.

Ce chiffre me paraît inférieur à ce qu'il serait, en réalité, dans une grande gare du réseau du Nord, comme celle de la Chapelle. En effet :

1° Au lieu de fonctionner à pleine charge, ou même à $\frac{1}{2}$ charge, comme l'ont supposé les ingénieurs belges, l'expérience apprend que les grues n'y fonctionnent pas, en moyenne, à plus du tiers et même du quart de leur force nominale; nous en avons vu, à Anvers même, ne travailler toute une journée qu'au $\frac{1}{8}$ ou au $\frac{1}{9}$ et même qu'au $\frac{1}{10}$.

2° Au lieu d'enlever une tonne toutes les 2 ou 3 minutes, les grues mettent, en moyenne, 4 et 5 minutes quand le chargement ou le déchargement se fait dans des wagons couverts, très-inférieurs pour la manutention aux wagons découverts sur l'emploi desquels ont été basés les calculs des ingénieurs belges. Ces chiffres de 4 et 5 minutes sont même dépassés lorsque les arrimeurs ne déploient qu'une activité ordinaire, et surtout lorsque les wagons et les camions ne dégagent pas les voies et les quais avec une grande rapidité.

En admettant même que les grues travaillent, en moyenne, à $\frac{1}{3}$ de charge, et que chaque chargement ou déchargement ne demande pas plus de 4 minutes par opération, le prix de revient réel de la tonne chargée ou déchargée atteint $0^f,11 \times 3 \times \frac{4}{2}$, soit $0^f,66$.

Ce prix est assurément élevé, et cependant il est encore dépassé lorsque l'on emploie à soulever de faibles fardeaux

des grues de 1.500 à 2.000 kilog. et qu'on les utilise seulement par intermittences.

Causes de l'élévation des prix de revient de la manutention par les grues hydrauliques.

L'élévation du prix de revient de la manutention par les engins hydrauliques employés dans d'autres conditions que celles où ils le sont en Angleterre tient à ce que la dépense, en eau, de ces engins, restant la même, quel que soit l'effort à exercer, la force motrice dépensée n'est pas proportionnée au travail à produire.

En effet, quand on s'est donné la peine d'élever les 71.000 kilog. formant le lest de l'accumulateur et de comprimer avec lui l'eau à 50 atmosphères, il faut dépenser à l'extrémité de la canalisation, pour faire faire un tour, par exemple, à une grue ou à un cabestan, la même quantité d'eau, que le travail à effectuer soit maximum ou presque nul.

Chaque litre d'eau demande le même travail pour être emmagasiné dans l'accumulateur, et on le dépense de la même manière, qu'il s'agisse de soulever 2.000 kilog. ou simplement de relever la chaîne. C'est ainsi que nous avons vu à Anvers des grues de 1.000 kilog. utilisées à décharger des wagons de fûts à huile pesant environ 100 kilog. chacun; en ne tenant pas compte du frottement de l'eau de la canalisation et de la perte de charge qui en résulte, voilà un outil dont le rendement utile, ou plutôt utilisé, ne dépassait pas 10 p. 100 et était en réalité de 7 à 8 p. 100, en tenant compte des pertes par frottement dans la canalisation.

On voit donc que les appareils hydrauliques, grues ou cabestans, sont des engins bien inférieurs, au point de vue de rendement, quand ils ne sont pas employés *à pleine charge et d'une manière non interrompue.*

Comparaison des dépenses de la gare d'Anvers avec celles de la gare de la Chapelle.

La gare de la Chapelle dépense, par an, 2.500.000 francs pour un tonnage de 3.300.000 tonnes, dont 35 p. 100 environ sont manutentionnés par le public; c'est une dépense de 0f,76 environ par tonne manutentionnée.

A la gare d'Anvers, les dépenses sont de 900.000 francs seulement pour un tonnage de 1.500.000 tonnes.

Mais la plupart des marchandises sont manutentionnées par le public, et M. Soletti, qui s'est rendu compte avec moi de ce que seraient ces dépenses si la manutention était faite par le public dans les mêmes proportions qu'à la gare de la Chapelle, estime qu'elles ne seraient pas inférieures à 1.700.000 francs, ce qui porte à 1f,10 environ le prix réel de la tonne manutentionnée. C'est un chiffre peu différent de celui des gares anglaises, et qui montre qu'au point de vue économique, la manutention manuelle de la gare de la Chapelle est loin d'être inférieure à la manutention faite à la gare d'Anvers par les procédés hydrauliques.

Conclusions.

L'examen des installations hydrauliques de la gare d'Anvers me porte à croire que les ingénieux appareils de sir Armstrong, dont on tire un si excellent parti en Angleterre, ne doivent pas, en général et quant à présent, être recommandés par la manutention dans les grandes gares françaises (*).

(*) Ces installations sont, au contraire, justifiées à la gare maritime d'Anvers, où la vitesse est absolument indispensable pour éviter les encombrements produits par le déchargement d'un grand nombre de navires arrivant en même temps. Elles trouvent leur raison d'être dans l'organisation des corporations faisant les manutentions.

L'emploi des cabestans et des grues hydrauliques peut être avantageux quand l'établissement de ces engins n'est que *la conséquence et l'accessoire* d'installations destinées, comme elles le sont en Angleterre, à permettre l'usage des gares à étages ou à niveaux très-différents. C'est ainsi, par exemple, que se trouve justifié à Berlin, à la gare de Potsdam, l'établissement de cabestans hydrauliques, mettant en mouvement les chariots roulants qui dégagent les locomotives des trains arrivant en gare; mais il n'en est ainsi que parce que la disposition de la gare a nécessité l'installation de monte-charges pour racheter de grandes différences de niveau et qu'il a été possible de leur adjoindre des cabestans mus par le même accumulateur et fonctionnant, par conséquent, à peu de frais.

Quand, au contraire, les installations hydrauliques ont pour but unique la mise en mouvement des grues et des cabestans, il est nécessaire, pour que ces installations soient profitables et économiques, de réunir plusieurs conditions :

Il faut *que le matériel roulant employé soit, autant que possible, découvert; que les voies soient disposées de manière à assurer le dégagement rapide des wagons; que les quais de transbordement soient longs et étroits; que le trafic soit d'une importance telle que la manutention souffre peu d'intermittences.*

Il faut enfin *que les habitudes du public soient transformées, que la législation sur la réception des marchandises en gare soit modifiée et que l'octroi, comme en Angleterre, en Belgique et en Allemagne, disparaisse de nos villes.*

Quand toutes ces conditions auront été réalisées, il faudra voir s'il est possible de se procurer l'eau nécessaire à l'alimentation des appareils, car s'il est facile à Anvers, sur les bords de l'Escaut, d'avoir de l'eau à bon marché, cela serait beaucoup plus difficile ou au moins assez coûteux dans des gares comme celles de la Chapelle, où il faudrait

avoir recours à l'eau de la distribution de la ville de Paris. Enfin, il faudra, comme condition finale, examiner si, en raison du climat, les appareils hydrauliques pourront être installés sans que la gelée vienne périodiquement en paralyser l'effet.

Quoi qu'il en soit, l'importante question de la manutention par les engins mécaniques doit continuer à préoccuper les ingénieurs de chemins de fer, parce que la solution de cette question donnera les moyens d'augmenter la rapidité, de réduire les dépenses et de diminuer la difficulté si grave, dans les grandes gares, du recrutement du personnel.

Avec le matériel couvert en usage en France et avec notre législation, le déchargement des wagons ou leur chargement avec des grues mises en mouvement mécaniquement ne pourra certainement devenir la règle générale, mais il pourra cependant être pratiqué dans un assez grand nombre de cas et, en particulier, pour le transbordement de wagon à wagon, quand la nature des marchandises et le matériel roulant le permettront, à la condition d'adopter de bonnes dispositions de voies et de quais.

En outre, la manœuvre sur les voies des halles, sur les plaques et les voies qui les avoisinent pourra, dans beaucoup de cas, être faite avantageusement avec les moteurs mécaniques, car quel que soit le matériel roulant, quelle que puisse être la législation, tout semble dépendre du choix d'un moteur à dépense intermittente et variable.

Aussi je suis tenté de croire que l'emploi des câbles à grande vitesse, c'est-à-dire à petite section et à faible poids, mis en mouvement par des machines à vapeur comme les machines Corliss (déjà en usage dans le service du matériel du chemin de fer du Nord), dont le régime à grande détente permet de proportionner la dépense au travail utilisé, est de nature à rendre, dans les grandes gares, autant et plus de services que les engins hydrauliques dont les frais

d'installation sont si considérables. Et j'ai tout lieu de penser que, dans des gares d'importance moyenne, il sera avantageux d'utiliser, comme moteur, la machine à gaz verticale de Otto et Laugen, dont la dépense est d'environ $0^f,325$ par force de cheval et par heure, dont la conduite si simple peut, pour ainsi dire, être faite par le premier ouvrier venu et dont le travail, intermittent à volonté, ne donne qu'une dépense proportionnée à l'effet utile à produire.

Décembre 1875.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES.

CHRONIQUE.

Août 1876.

N° 38

TRACÉ

Des panneaux de douelle et de lit des voussoirs d'une voûte biaise à section droite circulaire, lorsque la tête est en talus et que la voûte est appareillée comme une voûte droite.

Par M. GROS (Marcel), ingénieur des ponts et chaussées.

Les *Annales* de 1872 ont publié (page 413), *pour le cas d'un plan de tête vertical*, une note de M. Jourjon, dont celle-ci peut être considérée comme la suite.

Le cas d'un plan de tête en talus, prolongeant le parement des murs de remblai aux abords, se présente aussi fréquemment. L'ouvrage ainsi construit est plus simple et plus solide, et ce surcroît de solidité n'est pas à négliger dans les ponts biais appareillés comme ponts droits. Si le talus a pour effet d'augmenter le biais du bandeau sur la moitié du pont du côté du pied-droit *obtus*, il a au contraire pour effet de le diminuer du côté du pied-droit *aigu* (comme le montreront l'épure et les formules), et, par suite, de diminuer la poussée au vide. Il est même permis de supposer que l'on peut, en adoptant un plan de tête en talus, dépasser pour la valeur du biais, au delà de laquelle il n'est pas

prudent d'appareiller un pont biais comme un pont droit, la limite généralement admise de 76 degrés.

Aussi, nous étant trouvé nous-même dans ce cas, et ayant constaté qu'il ne présentait aucune complication pour la taille des voussoirs, nous avons pensé qu'il serait utile de faire connaître à nos camarades les résultats de notre étude, si facile qu'il soit d'y arriver.

Traçons d'abord une épure (*fig.* 2, Pl. 18) qui n'a besoin, pour être comprise, que de la dénomination des lignes principales, savoir :

OO_1. O'. Axe de la voûte de rayon R.

AOB. Direction de la route — faisant avec la normale à OO_1 l'angle de biais ω — et trace, sur le plan horizontal passant par l'axe, du plan en talus de la tête — lequel contient aussi l'horizontale QQ' passant par le sommet SS' de l'intrados.

6 S' 6' projection verticale de la voûte et de la courbe d'intrados, divisée par les joints des voussoirs aux points 1, 2,... 1', 2',...

$TS'O' = \alpha$ angle du talus.

$T'S'O' = \alpha'$ angle formé par l'intersection du plan de talus et d'un plan vertical parallèle à l'axe de la voûte, et par la verticale.

Pour avoir le point quelconque 3 de la courbe d'intrados, en projection horizontale, il suffit évidemment de porter en $m3$ une longueur égale à M_3N_3.

Le biais δ_2^3, du voussoir 2,3, ou différence des ordonnées des points 2 et 3 par rapport à un plan de section droite postérieur peut être projeté sur la ligne PP', en II, III. Si donc, on trace $P_1P'_1$, parallèle à PP' et à une distance de PP' égale à la corde c d'un voussoir (nous supposerons, dans ce qui suit, c constant, comme cela a lieu généralement), la diagonale $(II)_1$.III, fera avec les lignes PP' $P_1P'_1$ les mêmes angles que la corde 2,3, dans l'espace, fait avec les joints de douelle correspondants.

D'un autre côté, l'angle ζ_2 du joint de douelle, qui est une génératrice du cylindre de voûte, et du joint de tête, qui, prolongé, passe par O, se rabat en vraie grandeur en $(H)_2$, H, P', la ligne $(H)_2$, H étant le prolongement de H, O.

Ces deux éléments angulaires, ζ_2, que nous appellerons angle d'arête, et ζ_2^3, que nous appellerons angle de biais, suffisent pour tailler le voussoir 2,3. L'appareilleur taillera d'abord la douelle en y appliquant sa cerce BC (*fig.* 4) et en y reportant avec son équerre mobile l'angle de biais ζ_2^3. Il taillera ensuite en suivant la partie AB de sa cerce les deux lits du voussoir. Il ne lui restera plus dès lors qu'à marquer sur ces lits la direction du joint de tête par rapport au joint de douelle, ce qu'il fera en reportant avec son équerre mobile l'angle ζ_2 sur le lit n° 2, et l'angle ζ_3 sur le lit n° 3 (*).

Or on peut, sans recourir au tracé de l'épure en vraie grandeur sur une aire plane, tracer sur une planche en bois, telle que PP_1' *qui n'aura jamais plus de* $0^m,50$ *de largeur et* $1^m,50$ *de longueur*, les deux séries d'angles ζ_2... et ζ_2^3... etc. seules nécessaires pour tailler les voussoirs.

1° *Angle de biais.* — Le biais δ_2^3 (dont la connaissance entraîne celle de l'angle de biais ζ_2^3), est égal à *ab*, biais correspondant à l'hypothèse d'un plan de tête vertical, *augmenté* de *b*2, différence des lignes $M_2 N_2$, $M_3 N_3$ correspondant aux points 2 et 3.

Or $\begin{cases} ab = (a\,3 \text{ ou CD}) \operatorname{tg} \omega = c \cos \dfrac{\varepsilon^2 + \varepsilon^3}{2} \cdot \operatorname{tg} \omega. \\ b2 = M_3 E = R (\cos \varepsilon_2 - \cos \varepsilon_3) \operatorname{tg} \alpha' = R \dfrac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega} (\cos \varepsilon_2 - \cos \varepsilon_3), \end{cases}$

et par suite

$$\delta_2^3 = c \operatorname{tg} \omega \cos \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_3}{2} + R \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega} (\cos \varepsilon_2 - \cos \varepsilon_3) \qquad (1)$$

(*) Il faut remarquer que si l'épaisseur AB (*fig.* 4) des voussoirs est constante, la longueur $3,3_1$, du joint de tête, ou épaisseur appa-

Pour les voussoirs de gauche, le second terme viendrait en *diminution* du premier, et l'on aurait :

$$\delta_2^{3'} = c \operatorname{tg} \omega \cos \frac{\varepsilon_2' + \varepsilon_3'}{2} - R \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega} (\cos \varepsilon_2' - \cos \varepsilon_3') \qquad (3)$$

chacun des deux termes ayant évidemment la même valeur pour deux voussoirs symétriquement placés par rapport à la clef. Pour le voussoir de clef on a simplement $\delta_1^{1'} = c \operatorname{tg} \omega$ (*).

Décrivons sur une feuille de papier (*fig.* 3), avec les compas habituels, un premier quart de cercle de rayon AC égal au biais $c \operatorname{tg} \omega$ du voussoir de clef, et un deuxième quart de cercle de rayon BC égal à $R \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega}$. Il faudra le plus souvent adopter pour ce second cercle l'échelle 1/2 afin de pouvoir le tracer avec un compas ordinaire. Divisons ces deux arcs AA', BB', comme la section droite a été divisée pour le tracé des voussoirs, les points A et B correspondant à la clef. Enfin, projetons sur le rayon AC les milieux des intervalles ainsi formés sur AA' : en D, par exemple, le milieu de l'intervalle 2,3, et projetons sur le rayon BC les points de division eux-mêmes marqués sur BB' : en E, F, par exemple, les points 2 et 3.

Il est facile de voir que DC représente le premier terme de l'expression δ_2^3 (c'est une autre démonstration du procédé ingénieux, indiqué par M. Jourjon) et que EF en représente le deuxième terme.

Ainsi, on peut avec le double décimètre mesurer direc-

---

rente du bandeau, ne l'est pas. Au contraire, si l'on donne à ce joint une longueur constante, l'épaisseur du voussoir varie. Mais ces différences cumulées n'atteindront pas généralement 0m,03 et d'un voussoir à l'autre seront insensibles.

(*) On aurait pu ici, comme plus loin pour les angles d'arête, avoir des formules toujours applicables en définissant autrement les angles ε et ω, mais les formules eussent été moins transparentes, et cela sans avantage réel.

tement sur cette figure, en tenant compte pour le cercle BC de l'échelle 1/2, si on l'a employée, les biais des voussoirs, et il sera aisé de les reporter les uns à la suite des autres sur l'arête de la planche PP' : en I, I', le biais de clef égal à AC (*fig.* 3), puis au-dessus en I, II, le biais du voussoir suivant; en II, III le biais du 3e, égal à DC + EF, etc.; enfin, au-dessous de I, I', on prendra I' II' égal au biais du second voussoir de gauche, puis II' III' égal au biais du 3e, c'est-à-dire à DC — EF, etc... quand cette dernière expression deviendra négative, il faudra en porter la valeur absolue en sens contraire, c'est-à-dire en remontant.

L'erreur sur chaque longueur ainsi reportée sera sans influence dans la pratique. On peut d'ailleurs restreindre le cumul de ces erreurs, soit par le calcul, soit en considérant que la longueur cumulée de tous les biais doit être égale au biais total de la voûte, c'est-à-dire au produit de l'ouverture par la tangente du biais ω.

2° *Angles d'arête.* — Le calcul donne aisément ces angles ζ_2, ζ_3, etc. On a en effet dans le triangle II, O, F

$$OF = R \operatorname{cotg} \zeta_2 = OS - SF = R \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega} - \sum_0^2 \delta. \qquad (3)$$

$\Sigma_0^2 \delta$, somme des biais du demi-voussoir de clef et du voussoir suivant, serait donné par la formule (1). On n'aurait, pour les voussoirs de gauche, qu'à changer — en +.

Mais ces calculs seraient longs.

Observons que la projection K du point S sur PP' est à peu près au milieu de l'intervalle I I', la différence $\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega}(1 - \cos \varepsilon_1)$ est absolument négligeable dans la pratique). Ayant donc marqué sur l'arête PP' un point H distant du milieu de cet intervalle de la longueur connue $OS = R \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega}$, on posera la planche sur le sol, on fixera à un point O placé au droit du point H et à une distance R de ce point, un fil qu'il

suffira de tendre en le faisant passer successivement par les points I, II, etc., pour que, dans ces positions successives, ce fil ait les directions cherchées $(I)_1 I$; $(II)_1 II$; etc., que l'on marquera sur la planche PP_1.

Il est évident que tout ce qui précède s'applique également, que la voûte soit en plein cintre ou en arc de cercle.

Ainsi, *par le calcul des deux seules quantités* $c \operatorname{tg} \omega$ *et* $R \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \omega}$, *par une construction graphique élémentaire d'une étendue de* $0^m,20$ *à* $0^m,30$, *et par une opération simple et rapide faite sur le sol, on pourra tracer sur un tableau, de moins de 1 mètre carré de surface, tous les éléments angulaires dont les appareilleurs ont l'habitude de se servir pour tailler les voussoirs des voûtes.* Le maçon le plus grossier peut en comprendre l'usage.

On peut conclure, il nous semble, de ce qui précède, que lorsqu'un tracé de route rencontre un ruisseau sous un angle assez faible pour permettre l'emploi de l'appareil des voûtes droites, il n'y a pas lieu de chercher à éviter un pont biais en déviant la route ou le ruisseau. Cette déviation présente des inconvénients, tandis que la construction d'un pont biais, avec plan de tête en prolongement du parement incliné des murs de remblai aux abords, aura sur le pont droit l'avantage d'une ordonnance plus simple, sur le pont biais à tête verticale celui d'une solidité plus grande, et ne présentera aucune sujétion véritable dans la taille des voussoirs.

Alais, le 20 janvier 1876.

N° 39

Isthme de Suez : entretien du canal, courants, météorologie, les lacs Amers. — Notes présentées à l'Académie des sciences, le 15 mai 1876, par M. de Lesseps.

1° M. de Lesseps, après avoir rappelé les résultats obtenus par l'emploi d'une drague marine pour l'entretien du chenal (*), annonce que des sondages faits en février 1876, à la suite d'une forte tempête qui avait eu lieu les 19 et 20 janvier, ont donné la certitude que sur la région s'étendant au nord du chenal d'entrée, les profondeurs d'eau nécessaires avaient été maintenues.

2° Les observations faites sur les courants dans le canal de Suez montrent que leur vitesse est de 1^{km},080 à l'heure, entre Port-Saïd et les lacs Amers; elle est de 3^{km},600 entre Suez et les lacs Amers; lors des grandes marées d'équinoxe, elle atteint 4 kilomètres. Le sens du courant entre Suez et les lacs Amers se fait du sud au nord à marée montante, et du nord au sud à marée descendante. Entre les lacs Amers et la Méditerranée, il varie avec la saison : en hiver, il va du sud au nord; en été, à cause de l'évaporation qui se produit dans les lacs, le courant est dirigé du nord au sud.

3° Tandis qu'autrefois, pendant les études et les travaux du canal, il pleuvait à peine une fois par mois, M. de Lesseps annonce que maintenant les rosées sont abondantes, qu'il pleut au moins deux fois par mois; d'autre part, et comme conséquence de ces faits, les végétaux commencent à pousser dans le désert même, et les habitants et les voyageurs se plaignent moins qu'autrefois des chaleurs de l'été.

4° Au sujet des lacs Amers, M. de Lesseps s'occupe de la salure des eaux et de l'évaporation. Tout d'abord, après le remplissage, qui dura sept mois et exigea 1.500 millions de mètres cubes d'eau, le degré de salure augmenta assez rapidement, par suite de la dissolution d'une partie du banc de sel ; actuellement, cette dissolution continue, et malgré cette cause, malgré l'évaporation, la salure des eaux est plutôt en décroissance. C'est ce qui résulte d'analyses faites à l'École des ponts et chaussées.

M. de Lesseps explique ce phénomène, qui paraît singulier au premier abord, par l'existence de courants dans le canal ; par suite de la différence de densité, les eaux saturées tombent au fond et

(*) Voir *Annales* 1876, p. 233.

se rendent à la mer, tandis que des courants de surface amènent aux lacs les eaux moins chargées de la mer, pour compenser les pertes de l'évaporation.

On peut donc conclure de là, ajoute M. de Lesseps, qu'un orifice de section relativement restreinte suffit à de vastes nappes d'eau salée, malgré leur éloignement de la mer, pour les empêcher de se concentrer sous l'action solaire des pays chauds.

CHEMINS DE FER (statistique).

Portugal. — D'après un rapport cité par l'*Engineering*, il y aurait en Portugal 920 kilomètres de chemins de fer en exploitation et 105 kilomètres en construction. Les études seraient terminées pour 635 kilomètres.

Italie. — D'après un rapport officiel, les lignes exploitées ont une longueur de 7.750 kilomètres, la longueur des lignes en construction est de 674 kilomètres.

Autriche-Hongrie. — A la fin de 1870, le réseau de chemins de fer en exploitation en Autriche et en Hongrie était de 9.230 kilomètres ; il était de 16.220 kilomètres à la fin de 1875.

Russie. — D'après le *Journal de Saint-Pétersbourg*, le réseau ferré de la Russie (moins la Finlande) représentait 17.775 kilomètres au 31 décembre 1875, contre 17.045 au 31 décembre 1874. Les recettes ont été, pour 1875, de 446.932.000 francs, avec une différence en plus de 311.000 francs sur 1874. Le trafic kilométrique présente une diminution finale de 0,35 p. 100.

C. M. G.

N° 40

MÉMOIRE

SUR

LA RÉPARTITION DES EFFORTS ET LES DÉFORMATIONS

DANS

LES CYLINDRES ET LES SPHÈRES PRESSÉS NORMALEMENT

ET DANS

LES PLAQUES CIRCULAIRES CHARGÉES SYMÉTRIQUEMENT (*)

Par M. BRUNE, ancien élève de l'École polytechnique,
Professeur à l'École des Beaux-Arts.

La théorie des cylindres et des sphères pressés normalement, a été donnée pour la première fois par Lamé, comme application de la théorie mathématique de l'élasticité de Poisson et Cauchy ; celle de la plaque circulaire a été donnée par Poisson, et depuis par Kirchoff. Présentées ainsi, elles exigent toutes deux la connaissance des équations générales de l'élasticité, tandis qu'on peut les déduire des principes élémentaires qui servent de base à la résistance des matériaux.

Navier avait eu le premier cette idée pour la théorie de la plaque, mais comme il a traité le cas général d'un profil quelconque, ses procédés sont nécessairement très-compliqués ; beaucoup plus récemment M. Résal a étudié le même problème pour les plaques circulaires, courbes ou planes chargées uniformément et normalement, ce qui

(*) NOTA. — On ne traite ici que le cas des corps isotropes, pour lesquels le coefficient d'élasticité est le même dans tous les sens.

constitue un cas à la fois plus particulier et plus général que celui traité ici ; mais sa méthode diffère de la mienne ainsi que ses résultats, et je ne crois pas que le présent travail soit tout à fait sans utilité.

§ I. — Cylindre circulaire soumis à des pressions uniformes.

Soit BCDE (*fig.* 30, Pl. 19) un élément d'un anneau de cylindre ayant r pour rayon moyen, dr pour largeur, l'unité pour épaisseur et 2α pour angle au centre ; soit T la tension ou pression perimétrale ramenée à l'unité de surface, F la tension ou pression rayonnante sur la face interne CD, $F + dF$ celle sur la face externe BE, toutes deux ramenées également à l'unité de surface ; l'élément étant en équilibre, la somme des projections des forces sur la ligne OA doit être nulle :

$$(F + dF)\left(r + \frac{dr}{2}\right)2\alpha = F\left(r - \frac{dr}{2}\right)2\alpha + T dr . 2 \sin \alpha.$$

Si α tend vers 0, le sinus se confond avec l'angle, et l'on trouve à la limite, en négligeant les infiniment petits du second ordre,

$$T = F + r\frac{dF}{dr} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; (1)$$

Telle est la relation fournie par la statique entre T et F ; la considération des déformations élastiques en donne une seconde.

Soit toujours le même anneau élémentaire, mais considéré dans son entier développement ; sous l'influence de la tension périmétrale T, il se dilatera et son rayon moyen r, deviendra $r\left(1 + \frac{T}{E}\right)$, si E est le coefficient d'élasticité de la matière de l'anneau.

D'autre part, sous l'inflence de la tension rayonnante F, la largeur dr de l'anneau deviendra $dr\left(1 + \frac{F}{E}\right)$. L'expérience

a montré que lorsqu'un corps s'allonge, il se contracte transversalement, et que le coefficient de contraction est le quart de celui d'allongement; donc sous l'influence de F le rayon deviendra $r\left(1-\frac{F}{4E}\right)$, et sous l'influence de T, dr deviendra $dr\left(1-\frac{T}{4E}\right)$; les deux effets se superposeront et, par suite, l'augmentation absolue du rayon ou le déplacement du milieu de l'anneau sera :

$$\frac{r}{E}\left(T-\frac{F}{4}\right) \dots\dots\dots\dots \quad (A)$$

L'augmentation de largeur de l'anneau sera de même :

$$\frac{dr}{E}\left(F-\frac{T}{4}\right) \dots\dots\dots\dots \quad (B)$$

Pour exprimer maintenant que les différents anneaux élémentaires qui constituent le cylindre sont solidaires, il suffit de poser que le déplacement (A) est égal à la somme des augmentations (B) :

$$\frac{r}{E}\left(T-\frac{F}{4}\right)=\int\frac{dr}{E}\left(F-\frac{T}{4}\right),$$

d'où en différentiant :

$$\frac{5}{4}T+r\frac{dT}{dr}=\frac{5}{4}F+\frac{r}{4}\frac{dF}{dr} \dots\dots\dots \quad (2)$$

Si l'on n'avait pas tenu compte de la contraction transversale, on aurait trouvé

$$T+r\frac{dT}{dr}=F,$$

ce qui permettrait également de résoudre le problème, mais modifierait légèrement la valeur des coefficients pour les déformations.

On a maintenant deux équations entre T et F, ce qui les

détermine complétement; de l'équation (1) on tire, en différentiant par rapport à r,

$$\frac{dT}{dr} = 2\frac{dF}{dr} + r\frac{d^2F}{dr^2} \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Entre les équations (1), (2), (3), on peut éliminer T et $\frac{dT}{dr}$, et il reste :

$$3r\frac{dF}{dr} + r^2\frac{d^2F}{dr^2} = 0, \qquad \text{ou } 3r^2\frac{dF}{dr} + r^3\frac{d^2F}{dr^2} = 0;$$

ce qui intégré donne

$$r^3\frac{dF}{dr} = C.$$

En intégrant une seconde fois, on obtient :

$$F = B - \frac{C}{2r^2}, \qquad \text{d'où } T = B + \frac{C}{2r^2}.$$

Les constantes B et C se déterminent d'après les conditions du problème ; il faut remarquer que les tensions ayant été comptées positivement, les compressions doivent être regardées comme négatives.

APPLICATIONS.

Soit un cylindre annulaire de rayon intérieur r_0 et de rayon extérieur r_1, soumis à une compression intérieure $-P_0$ et à une extérieure $-P_1$.

Pour $r = r_0$, on doit avoir... $F = -P_0$,

d'où $$-P_0 = B - \frac{C}{2r_0^2};$$

pour $r = r_1$, on doit avoir... $F = -P_1$,

d'où $$-P_1 = B - \frac{C}{2r_1^2};$$

de ces deux équations on déduit :

$$C = \frac{2(P_0 - P_1)r_1^2 r_0^2}{r_1^2 - r_0^2}, \qquad B = \frac{P_0 r_0^2 - P_1 r_0^2}{r_1^2 - r_0^2},$$

Ce qui donne pour les pressions :

$$\left.\begin{aligned} F &= \frac{P_0 r_0^2 - P_1 r_1^2}{r_1^2 - r_0^2} - \frac{(P_0 - P_1)r_1^2 r_0^2}{(r_1^2 - r_0^2)r^2}, \\ T &= \frac{P_0 r_0^2 - P_1 r_1^2}{r_1^2 - r_0^2} + \frac{(P_0 - P_1)r_1^2 r_0^2}{(r_1^2 - r_0^2)r^2}. \end{aligned}\right\} \quad \dots \quad (4)$$

Ces équations servent pour tous les cas ; si au lieu de compressions on avait des tensions, il suffirait de changer les signes de P_0 et P_1. Le déplacement d'un anneau est, comme on a vu plus haut,

$$\Delta r = \frac{r}{E}\left(T - \frac{F}{4}\right) = \frac{r}{4E}\left[3\,\frac{P_0 r_0^2 - P_1 r_1^2}{r_1^2 - r_0^2} + 5\,\frac{(P_0 - P_1)r_1^2 r_0^2}{(r_1^2 - r_0^2)r^2}\right].$$

Si les deux bases du cylindre sont soumises à une compression Q par unité de surface, cette compression raccourcira la longueur l du cylindre de... $\frac{lQ}{E}$, en même temps qu'elle dilatera transversalement son rayon de... $\frac{rQ}{4E}$; de même les tensions F et T diminueront la longueur du cylindre d'une quantité égale à

$$\frac{l}{E}\cdot\frac{F+T}{4} = \frac{l}{2E}\cdot\frac{P_0 r_0^2 - P_1 r_1^2}{r_1^2 - r_0^2},$$

de sorte que les déplacements absolus sont en définitive :

$$\left.\begin{aligned} \Delta l &= -\frac{l}{E}\left[Q + \frac{P_0 r_0^2 - P_1 r_1^2}{2(r_1^2 - r_0^2)}\right], \\ \Delta r &= \frac{r}{4E}\left[Q + 3\,\frac{P_0 r_0^2 - P_1 r_1^2}{r_1^2 - r_0^2} + 5\,\frac{(P_0 - P_1)r_1^2 r_0^2}{(r_1^2 - r_0^2)r^2}\right], \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

Si $P_0 > P_1$ ce qui est le cas des chaudières, des canons, des cylindres de machine à vapeur, des presses hydrauliques, etc..., la valeur maxima de F est à l'intérieur... $F_0 = -P_0$, c'est une compression; la valeur maxima de T est aussi à l'intérieur, c'est une tension :

$$T_0 = \frac{P_0(r_0^2 + r_1^2) - 2P_1r_1^2}{r_1^2 - r_0^2}.$$

Pour que cette tension ne dépasse pas la résistance de sécurité R, il faut calculer l'épaisseur du cylindre, de sorte qu'on ait :

$$r_1 \geqq r_0\sqrt{\frac{R + P_0}{R + 2P_1 - P_0}}.$$

Si $P_0 > R + 2P_1$ aucune épaisseur si grande qu'elle soit ne permettra au cylindre de résister ; c'est pour cela qu'on frette quelquefois à chaud les canons, ce qui revient à augmenter P_1, la frette se contractant par le refroidissement et serrant le canon.

Si $r_0 = 0 \ldots F = -P_1 \ldots T = -P_1$. Le cylindre plein transmet les pressions également dans tous les sens comme un liquide.

Du moment qu'il y a un vide à l'intérieur, le plus grand effort est toujours pour $r = r_0$ quel que soit son signe.

On peut donner de cette théorie une autre application que je crois nouvelle.

Soit un cylindre plein, de rayon r, soumis sur ses bases à une pression uniforme $-$ Q par unité de surface.

Sous l'influence de cette pression il se produira une dilatation transversale du rayon égale à $\frac{Qr}{4E}$.

Qu'on suppose maintenant le premier cylindre (*fig.* 29) emboîté dans un autre annulaire, exactement calibré, qui, lui, ne sera soumis à aucune action extérieure; le cylindre intérieur ne pourra plus se dilater transversalement sans dé-

terminer de la part de son enveloppe une pression uniforme $-$ P; alors, en vertu de (5), l'augmentation de rayon du cylindre intérieur sera :

$$\Delta r = \frac{r}{4E}(Q - 3P). \quad \ldots\ldots\ldots \quad (C)$$

et celle du rayon intérieur de l'enveloppe sera, en désignant par E′ son coefficient d'élasticité, et par r' son rayon extérieur,

$$\Delta r = \frac{Pr}{4E'} \cdot \frac{3r^2 + 5r'^2}{r'^2 - r^2}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (D)$$

Ces deux valeurs (C) et (D) doivent évidemment être égales, ce qui détermine P.

$$P = \frac{QE'(r'^2 - r^2)}{r'^2(5E + 3E') + 3r^2(E - E')},$$

Si $E = E'$ cette expression devient

$$P = Q\,\frac{r'^2 - r^2}{8r'^2}.$$

Le cylindre, étant renfermé dans une enveloppe, ne pourra plus être détruit que si celle-ci est rompue; or on a vu que pour l'enveloppe le plus grand effort est la tension méridienne intérieure ou périmétrale ; la résistance du corps enveloppé devient donc celle de l'enveloppe à la traction périmétrale ; d'après la formule (4), celle-ci est :

$$T = Q \cdot \frac{E'(r^2 + r'^2)}{r'^2(5E + 3E') + 3r^2(E - E')},$$

et si $E = E'$

$$T = Q \cdot \frac{r^2 + r'^2}{8r'^2}.$$

Si r' tend vers r, c'est-à-dire si l'enveloppe diminue d'épaisseur jusqu'à o,

$$T \text{ tend vers } Q\,\frac{E'}{4E}, \quad \text{et si } E' = E \ldots\ T = \frac{Q}{4}.$$

On arrive ainsi à ce résultat remarquable que toute enveloppe, quelque mince qu'elle soit, supporte au plus, comme tension, le quart de la pression de la même matière située à son intérieur. Dans ce cas, si le rayon r' varie de r à ∞, la tension varie de $\frac{Q}{4}$ à $\frac{Q}{8}$, et si $\frac{Q}{8}$ est plus grand que la résistance à la traction de la matière, aucune épaisseur, si grande qu'elle soit, n'empêchera l'enveloppe d'éclater.

Ces résultats du calcul sont confirmés par la pratique, et l'on voit des enveloppes extraordinairement minces, comme des sacs de toile, des peaux très-fines, maintenir des matières fortement comprimées auxquelles elles communiquent la résistance et la roideur.

§ 2. — Sphère soumise à des pressions normales uniformes.

Soit un élément infiniment petit d'un anneau découpé dans une sphère ; soit r (*fig.* 30) son rayon moyen, dr sa largeur, 2α son angle au centre, et de même dans le sens perpendiculaire au papier ; soit T la tension périmétrale rapportée à l'unité de surface, tension qui sera appliquée à quatre des faces de l'élément au lieu de deux comme pour le cylindre ; soient F et F + dF les tensions *rayonnantes* par unité de surface appliquées aux deux autres faces. Si l'on exprime que la somme des projections des forces sur OA est nulle, on trouve :

$$(F + dF)\left(r + \frac{dr}{2}\right)^2 4\alpha^2 = F\left(r - \frac{dr}{2}\right)^2 4\alpha^2 + 4T \sin \alpha dr \,.\, 2\alpha r,$$

à *la limite* α *se confond avec* sin α et si l'on néglige les infiniment petits du second ordre, on arrive à :

$$T = F + \frac{r}{2}\frac{dF}{dr} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Telle est la relation fournie par la statique ; la considération des déformations élastiques en fournit une seconde.

En effet, soit le même anneau élémentaire considéré dans son développement entier, il est soumis à deux tensions à angle droit T et à une tension rayonnante F. Sous l'influence de l'une des tensions T, le rayon augmente de $r\frac{T}{E}$, et sa largeur se contracte alors de $dr\frac{T}{4E}$, ainsi que son épaisseur; l'autre tension T perpendiculaire augmente l'épaisseur de $dr\frac{T}{E}$, contracte la largeur de $dr\frac{T}{4E}$ et le rayon de $r\frac{T}{4E}$. Sous l'influence de F le rayon se contracte de $r\frac{F}{4E}$, la largeur augmente de $dr\frac{F}{E}$ et l'épaisseur diminue de $dr\frac{F}{4E}$; de sorte que l'augmentation définitive du rayon est :

$$\Delta r = r\left(\frac{T}{E} - \frac{T}{4E} - \frac{F}{4E}\right) = \frac{r}{4E}(3T - F) \quad \ldots \quad (A)$$

et l'augmentation de largeur de l'anneau est :

$$\Delta dr = dr\left(\frac{F}{E} - \frac{T}{4E} - \frac{T}{4E}\right) = \frac{dr}{E}\left(F - \frac{T}{2}\right) \quad \ldots \quad (B)$$

Pour exprimer la solidarité des divers anneaux, il suffit de poser que (A) est égal à la somme de (B), d'où :

$$\frac{r}{4}(3T - F) = \int dr\left(F - \frac{T}{2}\right),$$

ce qui, différentié par rapport à r, donne :

$$5T + 3r\frac{dT}{dr} = 5F + r\frac{dF}{dr} \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

Si l'on n'avait pas tenu compte de la contraction transversale, on aurait trouvé comme pour le cylindre :

$$T + r\frac{dT}{dr} = F,$$

ce qui aurait seulement modifié les coefficients des déformations.

Différentiant (1) par rapport à r, on trouve :

$$\frac{dT}{dr} = \frac{3}{2}\frac{dF}{dr} + \frac{r}{2}\frac{d^2F}{dr^2} \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Si entre les équations (1), (2), (3), on élimine T et $\frac{dT}{dr}$, on arrive à :

$$4r\frac{dF}{dr} + r^2\frac{d^2F}{dr^2} = 0, \quad \text{ou} \quad 4r^3\frac{dF}{dr} + r^4\frac{d^2F}{dr^2} = 0,$$

ce qui, intégré, donne :

$$\frac{dF}{dr} = \frac{C}{r^4}.$$

En intégrant une seconde fois, on obtient :

$$F = B - \frac{C}{3r^3}, \quad \text{d'où} \quad T = B + \frac{C}{6r^3}.$$

Les constantes B et C se déterminent d'après les conditions du problème. Quant à la déformation du rayon, elle est égale, comme on a vu plus haut, à :

$$\Delta r = \frac{r}{4E}(3T - F) = \frac{r}{4E}\left(2B + \frac{5}{6}\frac{C}{r^3}\right),$$

de sorte que tout est connu.

APPLICATIONS.

Soit une enveloppe sphérique de rayon intérieur r_0, de rayon extérieur r_1, soumise à une pression intérieure $-P_0$ et à une pression extérieure $-P_1$.

Pour $r = r_0$, on doit avoir $F = -P_0$,

d'où
$$-P_0 = B - \frac{C}{3r_0^3},$$

et pour $r = r_1$, on doit avoir $F = -P_1$;

d'où
$$-P_1 = B - \frac{C}{3r_1^3},$$

de ces deux équations on déduit :

$$B = \frac{P_0 r_0^3 - P_1 r_1^3}{r_1^3 - r_0^3}, \qquad C = 3\,\frac{(P_0 - P_1) r_0^3 r_1^3}{r_1^3 - r_0^3},$$

ce qui donne :

$$\left.\begin{aligned} F &= \frac{P_0 r_0^3 - P_1 r_1^3}{r_1^3 - r_0^3} - \frac{(P_0 - P_1) r_0^3 r_1^3}{(r_1^3 - r_0^3) r^3}, \\ T &= \frac{P_0 r_0^3 - P_1 r_1^3}{r_1^3 - r_0^3} + \frac{(P_0 - P_1) r_0^3 r_1^3}{2(r_1^3 - r_0^3) r^3}, \\ \Delta r &= \frac{r}{8E}\left[4\,\frac{P_0 r_0^3 - P_1 r_1^3}{r_1^3 - r_0^3} + 5\,\frac{(P_0 - P_1) r_1^3 r_0^3}{(r_1^3 - r_0^3) r^3}\right], \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

pour $r = r_0$, $\quad F_0 = -P_0, \quad T_0 = \dfrac{P_0(2r_0^3 + r_1^3) - 3P_1 r_1^3}{2(r_1^3 - r_0^3)}.$

Pour que la tension T_0 ne dépasse pas la résistance de sécurité R de la matière, il faut que

$$\frac{P_0(2r_0^3 + r_1^3) - 3P_1 r_1^3}{2(r_1^3 - r_0^3)} \overline{<} R;$$

d'où
$$r_1 \overline{>} r_0 \sqrt[3]{\frac{2(P_0 + R)}{2R + 3P_1 - P_0}}.$$

Si donc $P_0 > 2R + 3P_1$, aucune épaisseur, si grande qu'elle soit, ne permettra à l'enveloppe de résister.

§ 3. — Théorie de la plaque circulaire chargée symétriquement.

Soit ABCD... (*fig.* 28), une portion infiniment petite d'un anneau de la plaque, soit r son rayon intérieur, 2α son angle au centre; cet élément de plaque sera en équilibre sous l'action des efforts tranchants et des couples de flexion appliqués à ses faces; quant à son poids propre ou sa charge propre, c'est une quantité négligeable comme étant d'ordre supérieur. Les efforts tranchants et les couples de flexion sont supposés être ramenés à l'unité de longueur parce que si on les ramène à l'unité de surface, l'épaisseur de la plaque entrera partout comme facteur et disparaîtra, Il y aura donc sur la face DCEF l'effort tranchant T, et le couple m, qu'il faudra multiplier par la longueur d'arc DC; sur la face opposée ABHG, ce sera $T + dT$ et $m + dm$ qu'il faudra multiplier par la longueur de l'arc AB, et sur les deux faces latérales, il y aura le couple m' multiplié par dr.

Pour exprimer l'équilibre, il suffit d'écrire que la somme des moments par rapport au plan DCFE est nulle, ce qui donne :

$$(m + dm)(r + dr)2\alpha = m.2\alpha r + 2m'dr \sin \alpha +$$
$$+ (T + dT)(r + dr)2\alpha.dr.$$

Si l'on néglige les infiniment petits du second ordre et si l'on confond sin α avec α, il reste :

$$m' = m + r\frac{dm}{dr} - rT \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Telle est la relation fournie par la statique : on en trouve une seconde par la considération des déformations élastiques. En effet, si l'on considère une tranche horizontale infiniment mince de ce même élément, elle est soumise à une pression rayonnante et à une circulaire ; elle se trouve par suite dans le cas de l'élément d'anneau cylindrique étudié au § 1, et ses pressions doivent satisfaire à l'équation (2)

de ce paragraphe. Cette équation, étant indépendante de la hauteur à laquelle est située la tranche, existera pour toutes les tranches et par suite pour toutes les forces élémentaires dont l'ensemble constitue les couples m et m'; il en résulte que cette équation sera vérifiée aussi par les couples m et m'; on a donc pour seconde relation :

$$\frac{5}{4}m' + r\frac{dm'}{dr} = \frac{5}{4}m + \frac{r}{4}\frac{dm}{dr} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

L'équation (1) différentiée par rapport à r donne :

$$\frac{dm'}{dr} = 2\frac{dm}{dr} + r\frac{d^2m}{dr^2} - \mathrm{T} - r\frac{d\mathrm{T}}{dr} \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Si entre ces trois équations on élimine m' et $\frac{dm'}{dr}$, il vient :

$$3\frac{dm}{dr} + r\frac{d^2m}{dr^2} = \frac{9}{4}\mathrm{T} + r\frac{d\mathrm{T}}{dr};$$

ce qui, intégré une première fois, donne :

$$2m + r\frac{dm}{dr} = \mathrm{T}r + \frac{5}{4}\int \mathrm{T}dr + 2\mathrm{A};$$

en multipliant les deux nombres par r et intégrant, on trouve :

$$mr^2 = \int \mathrm{T}r^2dr + \frac{5}{4}\int rdr\int \mathrm{T}dr + \mathrm{A}r^2 + \mathrm{B};$$

effectuant par partie l'intégrale double du second membre, il vient, toutes réductions faites :

$$m = \frac{3}{8r^2}\int \mathrm{T}r^2dr + \frac{5}{8}\int \mathrm{T}dr + \mathrm{A} + \frac{\mathrm{B}}{r^2} \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

d'où on déduit pour m' :

$$m' = -\frac{3}{8r^2}\int \mathrm{T}r^2dr + \frac{5}{8}\int \mathrm{T}dr + \mathrm{A} - \frac{\mathrm{B}}{r^2} \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

les constantes A et B sont déterminées par les conditions du problème ; lorsque la plaque n'est pas percée au centre on voit facilement que $B = 0$.

Pression. — Les pressions sont données par les formules ordinaires de la résistance des matériaux ; ainsi la face infiniment petite ABCD (*fig.* 31) est soumise à un couple de flexion de moment égal à

$$m.2r\alpha = M.$$

Son moment d'inertie est

$$I = \frac{2r\alpha.(2\varepsilon)^3}{12},$$

2ε étant l'épaisseur de la plaque; si donc v est la distance d'une fibre à celle du milieu, on aura pour la pression qu'elle supporte la formule connue

$$R = \frac{Mv}{I} = \frac{m.2r\alpha.v}{2r\alpha.8\varepsilon^3}.12 = \frac{3mv}{2\varepsilon^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

La pression est maxima pour $v = \pm\varepsilon$

$$R_1 = \pm\frac{3m}{2\varepsilon^2}.$$

On aura de même pour la face latérale EADG

$$R' = \frac{M'v}{I'} = \frac{m'.dr.v}{dr.8\varepsilon^3}.12 = \frac{3m'v}{2\varepsilon^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

L'effort tranchant moyen est $\frac{T}{2\varepsilon}$; pour avoir sa répartition exacte, il faut employer précisément la même méthode que pour les poutres droites au moyen de la considération du glissement longitudinal des fibres; on trouve ainsi que l'effort est nul aux faces supérieure et inférieure, et maximum à la fibre neutre, où sa valeur atteint les $\frac{3}{2}$ de l'ef-

fort tranchant moyen; on a donc pour la valeur maxima de l'effort tranchant rapporté à l'unité de surface, ou de l'effort de glissement horizontal qui lui est égal :

$$F = \frac{3T}{4\varepsilon} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Déformations. — On a vu plus haut que la pression dans le sens du rayon était pour une fibre située à la distance v de la fibre neutre

$$R = \frac{3mv}{2\varepsilon^3};$$

par suite son allongement est

$$\frac{R}{E} = \frac{3mv}{2E\varepsilon^3}.$$

Dans le sens perpendiculaire ce sera

$$\frac{R'}{E} = \frac{3m'v}{2E\varepsilon^3};$$

ce dernier allongement donnera lieu dans le premier sens à une contraction

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{3m'v}{2E\varepsilon^3};$$

de sorte que l'allongement total dans le sens du rayon sera :

$$\frac{3v}{2E\varepsilon^3}\left(m - \frac{m'}{4}\right).$$

Mais d'après une formule connue de résistance des matériaux on a : $\frac{R}{E} = \frac{v}{\rho}$ pour expression de l'allongement, si ρ est le rayon de courbure de la fibre neutre; donc

$$\frac{1}{\rho} = \frac{3}{2E\varepsilon^3}\left(m - \frac{m}{4}\right),$$

et ici ρ est le rayon de courbure de la section méridienne de la fibre neutre déformée; comme d'ailleurs

$$\frac{1}{\rho}=\frac{\frac{d^2y}{dr^2}}{\left[1+\left(\frac{dy}{dr}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}},$$

on aura pour déterminer la courbe prise par la fibre neutre l'équation différentielle

$$\frac{\frac{d^2y}{dr^2}}{\left[1+\left(\frac{dy}{dr}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}=\frac{3}{2E\varepsilon^3}\left(m-\frac{m'}{4}\right) \quad \ldots\ldots \quad (9)$$

Pour les petites déformations on prendra l'équation approchée :

$$\frac{d^2y}{dr^2}=\frac{2E\varepsilon^3}{3}\left(m-\frac{m'}{4}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Nota. — Dans ces formules on a considéré comme positives les forces dirigées vers le haut.

Résumé. — L'effort tranchant ramené à l'unité de longueur, T, est toujours connu du moment qu'on connaît le mode de distribution de la charge, donc on pourra toujours déterminer m et m' et, par suite, toutes les inconnues.

APPLICATIONS.

1° *Plaque uniformément chargée et posée sur son contour.* — Soit p la charge par unité de surface, r_1, le rayon de la plaque, 2ε son épaisseur; $p\pi r_1^2$ sera la charge totale et, par suite, la réaction totale de l'appui circulaire; la charge d'une bande annulaire depuis r jusqu'à r_1 sera $p\pi(r_1^2-r^2)$; la différence sera $p\pi r^2$, et comme cet effort total s'exerce

sur une circonférence égale à $2\pi r$, il en résulte pour l'effort tranchant ramené à l'unité de longueur la valeur

$$T = \frac{p\pi r^2}{2\pi r} = \frac{pr}{2}.$$

alors

$$m = \frac{3}{8r^2}\int \frac{pr^3}{2} dr + \frac{5}{8}\int \frac{pr}{2} dr + A = pr^2\left(\frac{3}{64} + \frac{5}{32}\right) + A = \frac{13pr^2}{64} + A.$$

Si $r = r_1$ on doit avoir. . . $m = 0$, d'où l'on conclut : $A = \frac{13pr_1^2}{64}$ ce qui donne pour m et m' :

$$m = -\frac{13p}{64}(r_1^2 - r^2), \qquad m' = -\frac{p}{64}(13r_1^2 - 7r^2).$$

Il en résulte pour les pressions les valeurs suivantes :

Pression rayonnante : $R = \frac{3mv}{2\varepsilon^3} = -\frac{39pv}{128\varepsilon^3}(r_1^2 - r^2)$,

Pression méridienne : $R' = \frac{3m'v}{2\varepsilon^3} = -\frac{3pv}{128\varepsilon^3}(13r_1^2 - 7r^2)$,

pour $r = r_1$: $R = 0$, $R' = -\frac{18pr_1^2}{128.\varepsilon^2}$,

pour $r = 0$: $R = R' = -\frac{39.pr_1^2}{128.\varepsilon^2}$ maximum.

L'effort tranchant maximum a lieu au droit de l'appui

$$F = \frac{3pr_1}{8\varepsilon}, \qquad \text{si } r = 0, \ F = 0.$$

Déformation. $\frac{d^2y}{dr^2} = -\frac{9p}{512E\varepsilon^3}[13r_1^2 - 15r^2]$,

d'où
$$\frac{dy}{dr} = -\frac{9p}{512E\varepsilon^3}\left[13r_1^2 r - \frac{15r^3}{3}\right],$$

sans constante, car à cause de la symétrie pour $r = 0$... $\frac{dy}{dr} = 0$,

$$y = -\frac{9p}{512E\varepsilon^3}\left[13r_1^2\frac{r^2}{2} - \frac{15r^4}{12} + C\right],$$

pour $r = r_1$ on doit avoir $y = 0$, ce qui donne

$$C = -\frac{63 r_1^4}{12},$$

d'où
$$y = \frac{9p}{2048 E\varepsilon^3}\left[21 r_1^4 - 26 r_1^2 r^2 + 5 r^4\right],$$

Si $r = 0$
$$f = \frac{189 p r_1^4}{2048 E\varepsilon^3} = \frac{p r_1^4}{E\varepsilon^3}\,.0{,}09228\ldots$$

Résumé. — Calculer l'épaisseur de la plaque par la formule

$$2\varepsilon = 1{,}104 r_1 \sqrt{\frac{p}{R}},$$

qui correspond à la flexion, et vérifier celle

$$\varepsilon \geqq \frac{3}{8} r_1 \frac{p}{R_1},$$

où R_1 est la résistance au cisaillement.

2° *Même problème, en supposant de plus la plaque encastrée.* — On obtient comme précédemment :

$$T = \frac{pr}{2}, \quad m = \frac{13pr^2}{64} + A, \quad m' = \frac{7pr^2}{64} + A.$$

La constante A se détermine en exprimant qu'à cause de l'encastrement la tangente à la fibre neutre est horizontale au droit de l'appui ; l'équation de la fibre neutre est :

$$\frac{d^2y}{dr^2} = \frac{9}{8E\varepsilon^3}\left[\frac{15pr^3}{64} + A\right],$$

d'où
$$\frac{dy}{dr} = \frac{9}{8E\varepsilon^3}\left[\frac{15pr^2}{3.64} + A\right],$$

sans constante, car pour $r = 0$ $\frac{dy}{dr} = 0$;

pour $r=r_1$ on doit avoir aussi $\frac{dy}{dr}=0$, donc $A=\frac{5pr_1^2}{64}$.
Ce qui donne pour les moments :

$$m=\frac{p}{64}(13r^2-5r_1^2),\quad m'=\frac{p}{64}(7r^2-5r_1^2).$$

Si $r=r_1$ $m'=\frac{pr_1^2}{32}$, $m=\frac{pr_1^2}{8}$ (moment d'encastrement).

Si $r=0$ $m=m'=-\frac{5pr_1^2}{64}$,

on en déduit pour les pressions les valeurs suivantes :

Pression rayonnante : $R=\frac{3pv}{128.\varepsilon^3}[13r^2-5r_1^2]$,

Pression méridienne : $R'=\frac{3pv}{128.\varepsilon^3}[7r^2-5r_1^2]$.

Effort tranchant maximum au droit de l'appui... $F=\frac{3pr_1}{8\varepsilon}$.

Équation de la fibre neutre

$$y=\frac{45.p}{2048.E\varepsilon^3}[r^4-2r_1^2r^2+r_1^4],$$

pour $r=0$: $y=f=\frac{45pr_1^4}{2048.E\varepsilon^3}=\frac{pr_1^4}{E\varepsilon^3}\,0,02197...$

m est nul pour $r=r_1\sqrt{\frac{5}{13}}=r_1\,0,6201$.

Le point d'inflexion de la fibre neutre correspond à

$$r=r_1\frac{\sqrt{3}}{3}=r_1\,0,577...$$

Résumé. — L'effort est maximum à l'encastrement; il est à celui de la plaque simplement posée comme $\frac{8}{11}=0,727$. La flèche est à celle sans encastrement comme $\frac{5}{21}=0,238...$ moins de $\frac{1}{4}$.

L'épaisseur de la plaque se calculera par la formule :

$$2\varepsilon = r_1 \frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{\frac{p}{R}} = 0,866 r_1 \sqrt{\frac{p}{R}}.$$

3° *Plaque chargée au centre et posée sur son contour.* — Soit P la charge appliquée au centre, r_1 le rayon de la plaque, 2ε son épaisseur.

Dans ce cas l'effort tranchant ramené à l'unité de longueur sur une circonférence de rayon r est évidemment :

$$T = \frac{P}{2\pi r}.$$

Alors $m = \frac{3}{8r^2}\int \frac{Prdr}{2\pi} + \frac{5}{8}\int \frac{Pdr}{2\pi r} + A = \frac{3P}{32\pi} + \frac{5P}{16\pi}\log\frac{r}{r_1} + A.$

L'introduction de r_1 sous le signe *log* ne fait que modifier la constante A.

Pour $r = r_1$ on doit avoir $m = 0$, donc $A = -\frac{3P}{32\pi}$

d'où $m = \frac{5P}{16\pi}\log\frac{r}{r_1}$, $m' = -\frac{3P}{16\pi} + \frac{5P}{16\pi}\log\frac{r}{r_1}$.

On voit que m, et par suite R, est infini au centre, ce qui était évident du reste, puisqu'il y a une charge finie appliquée sur une surface nulle ; l'effort tranchant serait également infini.

La flèche est néanmoins finie.

$$\frac{d^2y}{dr^2} = \frac{9P}{128.\pi E\varepsilon^3}\left[5\log\frac{r}{r_1} + 1\right],$$

$$\frac{dy}{dr} = \frac{9P}{128\pi E\varepsilon^3}\left[5r\log\frac{r}{r_1} - 4r\right],$$

sans constante, car pour $r = 0$, $\frac{dy}{dr} = 0$;

$$y = \frac{9P}{128\pi E\varepsilon^3}\left[\frac{5r^2}{2}\log\frac{r}{r_1} - \frac{5r^2}{4} - \frac{4r^2}{2} + C\right].$$

Si $r=r_1 \ldots\ldots y=0 \ldots\ldots$ d'où $C=\frac{13r_1^2}{4}$, ce qui donne :

$$y=\frac{9P}{512\pi E\varepsilon^3}\left[13r_1^2-13r^2+10r^2\log\frac{r}{r_1}\right],$$

pour $r=0\ldots$ on a :

$$y_1=f=\frac{117Pr_1^2}{512\pi E\varepsilon^3}=\frac{Pr_1^2}{\pi E\varepsilon^3}\cdot 0{,}2285\ldots$$

Si la charge totale P était uniformément répartie, on aurait

$$P=\pi r_1^2 p,$$

et la flèche serait :

$$f_1=\frac{189pr_1^4}{2048E\varepsilon^3};$$

il en résulte que $\frac{f}{f_1}=\frac{52}{21}$. Ainsi la flèche est plus que doublée quand la charge, au lieu d'être uniformément distribuée, est concentrée au milieu.

4° *Plaque soumise à un couple.* — Soit m_1 le couple extérieur rapporté à l'unité de longueur sur la circonférence d'appui. L'effort tranchant est nul partout, et les équations (4) et (5) deviennent

$$m=m'=A;$$

d'ailleurs pour $r=r_1$ on doit avoir $m=m_1$, donc $A=m_1$, ce qui donne :

$$m=m'=m_1,$$

d'où résulte

$$R=R'=\frac{3m_1v}{2\varepsilon^3}.$$

L'équation différentielle de la fibre neutre est :

$$\frac{\frac{d^2y}{dr^2}}{\left[1+\left(\frac{dy}{dr}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}=\frac{9m_1}{8E\varepsilon^3},$$

ce qui, intégré une première fois, donne, en remarquant que pour $r = o$ on doit avoir $\frac{dy}{dr} = o$,

$$\frac{dy}{dr} = \frac{\frac{9m_1}{8E\varepsilon^3} r}{\sqrt{1 - \left(\frac{9m_1 r}{8E\varepsilon^3}\right)^2}},$$

d'où l'on déduit, en intégrant une seconde fois et exprimant que pour $r = r_1$, $y = o$,

$$y = \sqrt{\left(\frac{8E\varepsilon^3}{9m_1}\right)^2 - r_1^2} - \sqrt{\left(\frac{8E\varepsilon^3}{9m_1}\right)^2 - r^2},$$

équation d'un cercle; ainsi la plaque déformée est une portion d'enveloppe sphérique.

La flèche a pour valeur

$$f = \frac{8E\varepsilon^3}{9m_1} - \sqrt{\left(\frac{8E\varepsilon^3}{9m_1}\right)^2 - r_1^2}.$$

Si l'on avait pris la valeur approchée....

$$\frac{d^2y}{dr^2} = \frac{9m_1}{8E\varepsilon^3},$$

on aurait trouvé

$$f = \frac{9m_1 r^2}{16E\varepsilon^3}.$$

5° *Plaque d'égale résistance, posée et uniformément chargée.* — La qualification d'égale résistance ne doit être prise que dans le sens restreint qu'on lui attribue d'ordinaire, et ne s'applique qu'aux fibres supérieure et inférieure.

Comme il y a deux pressions, celle méridienne et celle rayonnante, et que leur expression n'est pas la même, on ne peut satisfaire à l'égalité de résistance que pour une d'elles. Si l'on considère la pression rayonnante, on

voit que le profil de la plaque sera une ellipse et que l'épaisseur 2ε sera nulle au droit de l'appui; mais alors la pression méridienne serait infinie en ce point; on ne peut donc admettre cette solution, et c'est sur la pression méridienne qu'il faudra se baser; son expression étant

$$R' = \frac{3p}{128.\varepsilon^2}(13r_1^2 - 7r^2),$$

pour que R' soit constant, il faudra que ε satisfasse à l'équation

$$\varepsilon^2 = \frac{3p}{128.R'}(13r_1^2 - 7r^2). \quad \ldots \ldots \ldots \quad (A)$$

équation d'une ellipse dont l'ordonnée n'est pas nulle pour $r = r_1$, mais est égale à celle du centre multipliée par

$$\sqrt{\frac{6}{13}} = 0,67936\ldots$$

La pression rayonnante est alors égale à celle méridienne pour $r = 0$, et diminue jusqu'à 0 pour $r = r_1$.

Il est facile de trouver la flèche : si dans l'équation différentielle de la fibre neutre on remplace ε par sa valeur tirée de (A), on obtient :

$$\frac{d^2y}{dr^2} = -\frac{2R'}{E}\sqrt{\frac{6R'}{p}} \cdot \frac{13r_1^2 - 15r^2}{(13r_1^2 - 7r^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Si l'on intègre une première fois, on obtient, en remarquant que pour $r = 0$ on doit avoir $\frac{dy}{dr} = 0$,

$$\frac{dy}{dr} = \frac{2R'}{7E}\sqrt{\frac{6R'}{7p}}\left\{\frac{8r}{\sqrt{\frac{13}{7}r_1^2 - r^2}} - 15\left(\frac{\pi}{2} - \operatorname{arc\,sin}\frac{\sqrt{\frac{13}{7}r_1^2 - r^2}}{r_1\sqrt{\frac{13}{7}}}\right)\right\}.$$

Intégrant une seconde fois et exprimant que pour $r = r_1$ l'ordonnée est nulle, on trouve :

$$y = \frac{2R}{7E}\sqrt{\frac{6R}{7p}}\left\{ 23\left(r_1\sqrt{\frac{6}{7}} - \sqrt{\frac{13}{7}r_1^2 - r^2}\right) + 15r_1\left(\frac{\pi}{2} - \text{arc sin}\sqrt{\frac{6}{13}}\right) - \right.$$

$$\left. - 15r\left(\frac{\pi}{2} - \text{arc sin}\frac{\sqrt{\frac{13}{7}r_1^2 - r^2}}{r_1\sqrt{\frac{13}{7}}}\right)\right\},$$

pour $r = 0$,

$$y_1 = f = \frac{2R'}{7E}\sqrt{\frac{6R'}{7p}}\left\{23\frac{\sqrt{6} - \sqrt{13}}{\sqrt{7}} + 15\left(\frac{\pi}{2} - \text{arc sin}\sqrt{\frac{6}{13}}\right)\right\}r_1,$$

ou en effectuant

$$f = \frac{r_1 R'}{E}\sqrt{\frac{R'}{p}} \cdot 0{,}610678\ldots$$

Si la plaque avait eu l'épaisseur constante et égale à celle fournie par l'équation (A) au centre

$$\left(\varepsilon = r_1\sqrt{\frac{39p}{128 . R'}}\right)\ldots,$$

la flèche aurait eu pour valeur :

$$f_1 = \frac{r_1 R'}{E}\sqrt{\frac{R'}{p}} \times \frac{63\sqrt{2}}{26\sqrt{39}} = \frac{r_1 R'}{E}\sqrt{\frac{R'}{p}} \cdot 0{,}548785\ldots$$

Le rapport des flèches est donc :

$$\frac{f}{f_1} = 1{,}1129\ldots$$

On pourrait traiter de la même manière une foule d'autres cas, plaque évidée au centre, posée ou encastrée sur le bord interne ou externe, ou sur un anneau, plaque posée sur le centre et débordant, ou posée sur n appuis circulaires, plaque chargée suivant une loi quelconque pourvu qu'il y ait symétrie circulaire; en effet, comme l'a indiqué M. Maurice Lévy à son cours du Collége de France, la plaque circulaire admet les mêmes variétés de charge et de disposition que la poutre droite. La théorie exposée ici est entièrement générale et n'exige que la connaissance de l'effort tranchant qui se déduit immédiatement du mode de répartition de la charge.

Les applications sont nombreuses et le seront d'autant plus que la théorie sera plus répandue, car presque tous les constructeurs emploient couramment la résistance des matériaux, et bien peu sont familiarisés avec la théorie mathématique de l'élasticité; il suffit de citer comme exemples, les fonds de réservoir en métal, les couvercles ou fonds de chaudière, les pistons de machines, les plaques en fonte des regards, les vitres-dalles éclairant les sous-sols, etc.

Les formules sont identiques avec celles fournies par la théorie mathématique de l'élasticité, ce qui est dû à l'introduction, dans la résistance des matériaux, de la contraction ou dilatation transversale; la considération de cet effet bien connu ne complique en rien les formules et ne modifie que les coefficients; elle peut s'étendre à tous les cas traités dans la résistance, et communique alors à cette branche de la mécanique appliquée une rigueur qui lui manquait; son emploi est légitime, car les délicates expériences de M. Cornu ont montré que la contraction transversale était exactement à l'allongement longitudinal dans le rapport donné plus haut, qui concorde avec les hypothèses adoptées par Cauchy.

Nota. — Pour les plaques on peut mettre les équations

qui donnent m et m' sous une autre forme, en partant du moment des forces extérieures pour un cercle de rayon r, au lieu de l'effort tranchant ; la marche est d'ailleurs identique. Soit M le moment, rapporté à l'unité de longueur, des forces extérieures sur le cercle de rayon r, on a :

$$m = -\frac{5}{8}\int \frac{M}{r}dr + \frac{3}{8r^2}\int Mrdr - M + A + \frac{B}{r^2},$$

$$m' = -\frac{5}{8}\int \frac{M}{r}dr - \frac{3}{8r^2}\int Mrdr - \frac{M}{4} + A - \frac{B}{r^2}.$$

Les moments des réactions sont considérés ici comme positifs, et M est le moment des forces appliquées depuis r_1 jusqu'à r. Si l'on voulait, au contraire, employer le moment des forces appliquées depuis r_0 jusqu'à r, il suffirait de changer le signe de M.

Pour les cas ordinaires ces formules sont d'un emploi moins commode, à cause de la complication de l'expression de M ; mais on peut avec elles résoudre des questions que les autres rendraient difficiles : ainsi le cas d'une plaque fléchie par une compression sur son contour, ou celui d'une plaque chargée et tirée en même temps tout autour.

1875.

N° 41

NOTES SUR LES PONTS MÉTALLIQUES

Par M. VIGAN, ingénieur des ponts et chaussées.

NOTE I.

Un exemple de l'influence exercée sur le prix d'établissement des ponts métalliques des voies de terre par l'instruction ministérielle du 15 juin 1869.

Deux ponts métalliques d'une certaine importance et presque identiques dans leurs dispositions générales ont été construits dans ces derniers temps à Nice sur le torrent du Paillon pour le passage de deux voies de terre.

L'un a été établi par la ville en 1864-1865; il relie, à l'embouchure même du Paillon, deux promenades longeant la mer: la promenade des Anglais et le quai du Midi; il est généralement désigné sur les plans de la ville de Nice sous le nom de *pont des Phocéens.*

L'autre, situé à 1.100 mètres environ à l'amont du premier, fait partie de la rectification de la route nationale n° 7, dans la traversée de Nice, et relie deux quartiers importants: le quai Saint-Jean-Baptiste et la place Garibaldi; on s'est accoutumé à le désigner par le même nom que la place à laquelle il aboutit; on l'appelle le *pont Garibaldi.* Il a été commencé en 1870 et terminé en 1873.

Entre les époques où ces deux ponts ont été construits est intervenue la circulaire ministérielle du 15 juin 1869; l'administration y a posé pour la première fois les bases auxquelles les ingénieurs auraient à se conformer pour le calcul des ponts métalliques des voies de terre, bases

quelque peu inattendues et présentant de très-grandes différences avec celles admises précédemment par les constructeurs.

Dès le jour même où parut ce nouveau programme, il ne fut pas difficile de prévoir, à la seule lecture des dispositions qu'il renfermait, qu'il allait résulter de son application des changements considérables dans l'établissement des ponts métalliques des routes; qu'on serait conduit à donner aux diverses pièces des dimensions plus fortes que par le passé, et partant à dépenser davantage.

Rien n'eût été dans la suite plus propre à préciser ce pressentiment, à le garantir contre toute exagération dans un sens ou dans l'autre, rien surtout n'eût été plus commode pour atteindre ce but que de pouvoir comparer pour quelques ouvrages ce que nous demanderons la permission d'appeler deux éditions, l'une antérieure, l'autre postérieure à la circulaire de 1869.

Mais des facilités de cette nature sont chose rare.

D'un autre côté, on ne se sent guère porté, pour y suppléer, à recourir à des transformations plus ou moins laborieuses, plus ou moins sûres, destinées à ramener aux mêmes proportions les ouvrages dissemblables qui sont en général les seuls dont on dispose; plus difficilement encore se résout-on à dresser de toutes pièces des projets de fantaisie.

D'où il résulte que le plus grand nombre reste sous l'impression vague des premiers jours, et que le temps s'écoule sans qu'on acquière une notion précise des suites d'un événement qui a bien son importance dans l'histoire des ponts métalliques.

Il serait d'un intérêt incontestable, pour remédier à cette lacune, que partout où il est possible de se procurer des données suffisantes pour faire ressortir simplement, sans grand travail, la transformation accomplie depuis 1869, on les portât à la connaissance des *Annales*.

On arriverait ainsi à former un tableau des différents types de ponts qui constituerait un document non-seulement fort curieux, mais encore susceptible de rendre des services dans plus d'un cas, notamment pour la rédaction des avant-projets.

L'occasion se présente dès aujourd'hui pour nous de poser le premier jalon dans cette voie où nous désirerions nous voir suivi par ceux de nos camarades qui sont à même de le faire.

On devine que nous voulons parler de la comparaison du pont des Phocéens et du pont Garibaldi.

Notre communication nous paraît emprunter un caractère tout particulier d'intérêt à cette circonstance qu'elle se rapporte au type le plus ordinaire des ponts-routes, à celui qui ne cessera de s'imposer, à l'exclusion de tout autre, lorsqu'on aura à se préoccuper, ainsi que cela a lieu dans l'intérieur ou à proximité des grandes villes, d'assurer aux ouvrages un certain caractère d'élégance.

Chacune des trois arches dont se composent les ponts du Paillon est formée par cinq arcs en fonte, reliés par des poutrelles en fer entre lesquelles sont jetées de petites voûtes en briques supportant la chaussée et les trottoirs.

C'est, on le voit, le type courant et bien connu des ponts en fonte.

Dans leurs dimensions et dispositions générales, les deux ouvrages présentent la plus grande analogie.

Pour le pont des Phocéens, l'ouverture des arches, mesurée entre les points d'intersection de l'intrados avec les parements des coussinets en pierre de taille, est de 21 mètres; la flèche est de 2 mètres; la largeur de la chaussée est de 7 mètres; celle de chaque trottoir, entre le pied de la bordure et l'axe du garde-corps, est de $2^{m},55$; par suite la largeur totale entre les axes des garde-corps est de $12^{m},10$.

L'arc central et les arcs intermédiaires supportent la

voie charretière ; sur ces mêmes arcs intermédiaires et sur les arcs de tête reposent les trottoirs.

La distance d'axe en axe entre l'arc central et les arcs intermédiaires est de $3^m,60$; entre l'axe de ces derniers et le plan des moulures extérieures des arcs de tête, elle est de $2^m,40$; de sorte que la largeur totale entre les plans des têtes est de 12 mètres.

Pour le pont Garibaldi, l'ouverture des arches est de $21^m,20$; la flèche de $2^m,10$; la largeur de la chaussée de 7 mètres ; celle de chaque trottoir de $2^m,85$; par suite la largeur totale entre les axes des garde-corps est de $12^m,70$.

Les divers arcs sont disposés par rapport à la chaussée et aux trottoirs comme dans le premier pont.

La distance d'axe en axe entre l'arc central et les arcs intermédiaires est de $3^m,60$; entre l'axe de ces derniers et le plan des têtes elle est de $2^m,80$; la largeur totale entre les plans des têtes est, par suite, de $12^m,80$.

Les différences qui ressortent de ce rapprochement sont les suivantes :

La portée des arcs du pont Garibaldi dépasse de $0^m,20$ celle des arcs du pont des Phocéens, le rapport de la flèche à la corde, autrement dit le surbaissement, conservant la même valeur de 1/10 dans les deux ouvrages ;

La largeur des trottoirs est de $0^m,30$ plus grande au pont Garibaldi qu'au pont des Phocéens ;

Il y a aussi un excédant de $0^m,40$ dans l'espacement des arcs intermédiaires et des arcs de tête.

Ces différences ne valent pas la peine qu'on s'y arrête.

Il n'est pas besoin de longs calculs pour le prouver.

Supposons en effet, ce qui est bien loin de se réaliser, que l'importance de la charpente métallique, lorsque, sans que le surbaissement change, la portée varie, ainsi que la largeur des trottoirs, soit proportionnelle à la superficie horizontale du pont.

Si l'on veut, dans cette hypothèse, calculer ce que de-

viendrait la charpente métallique du pont des Phocéens, en augmentant la portée des arcs de $0^m,20$ et la largeur des trottoirs de $0^m,30$, on trouvera que le poids de la charpente existante étant représenté par le produit $21,000 \times 12,10$ ou $254,10$, celui de la charpente agrandie le serait par $21,20 \times 12,70$ ou $269,24$, par suite que l'augmentation relative serait de $\frac{269,24 - 254,10}{254,10}$, ou $\frac{15,14}{254,10}$, soit un peu moins de 0,06.

En réalité, elle ne dépasserait pas 0,03 à 0,04.

Or, dans l'espèce, ce sont des chiffres autrement forts que nous avons à mettre en évidence ; il n'y a pas à se préoccuper d'une correction de cet ordre.

A la traîner après soi dans tout le cours de l'exposé, on perdrait plus en clarté et en intérêt qu'on ne gagnerait en exactitude.

Nous raisonnerons donc comme si les dimensions générales des deux ponts étaient les mêmes.

Rien ne sera plus simple, du reste, que de tenir compte de la différence, si après une première lecture on le juge nécessaire. Les données qui précèdent et celles qui vont suivre rendront ce travail facile.

. . . .

Le pont des Phocéens a été établi d'après le mode usité avant 1869, et auquel on avait eu recours en particulier à Paris, en 1858, pour le pont de Solferino, et en 1861, pour le pont Saint-Louis (*) (*Annales* 1863, cah. 3).

M. le maire de la ville de Nice, agissant sous l'inspiration des ingénieurs des ponts et chaussées (**) chargés, à

(*) Dans les deux ponts de Solferino et de Saint-Louis, les poutrelles de plancher sont en fonte ; aux ponts de Nice elles sont en fer ; c'est la seule différence que présentent les deux types.

(**) Ingénieur en chef : M. Conte-Grandchamps.

Faisant fonctions d'ingénieur ordinaire : M. Delacroix, alors conducteur principal, aujourd'hui sous-ingénieur.

cette époque des travaux municipaux du Paillon, avait demandé un projet à un constructeur et avait passé avec lui un marché à forfait pour l'exécution.

C'est à M. Georges Martin qu'on s'était adressé, le même qui avait construit à Paris les deux ponts ci-dessus désignés et une trentaine d'autres encore tant en France qu'en Algérie, et qui venait de terminer, près de Nice, le grand viaduc du Var (*Annales* 1865, cah. 5).

Le marché ne renfermait qu'une seule clause relative à la résistance; elle se rapportait aux arcs.

« La distribution du métal dans les arcs, » portait l'article 7 « sera faite de telle sorte qu'ils présentent à la « clef une section où la pression ne dépasse pas 5 kilo- « grammes par millimètre carré, sous la charge d'épreuve « de 400 kilogrammes (*). »

Le calcul de tous les autres éléments du pont et en particulier des poutrelles et des voûtes en briques était laissé à la discrétion du constructeur.

Il n'était rien stipulé pour les épreuves de poids roulant.

La soumission dont nous venons de parler n'avait pas été préparée tout exprès pour le pont des Phocéens; elle dérivait d'un type général.

(*) Cette obligation, qui paraissait devoir s'entendre de la pression maximum à la clef, ne recevait en définitive satisfaction dans les calculs que pour la pression moyenne.

On calculait la pression totale par la formule des ponts suspendus (Bresse, *Cours de mécanique appliquée*, 2e édition, p. 257); on la divisait par la section de l'arc, et l'on se contentait que le quotient ne dépassât pas 5 kilog.

Si l'on avait appliqué le même procédé à l'arc central du pont Garibaldi, on aurait trouvé pour la pression par millimètre carré $4^k,05$, et l'on en aurait conclu que la section donnée à cet arc était exagérée.

Tandis que les calculs exacts, tout en vérifiant à très-peu près cette pression moyenne, ont indiqué pour l'extrados une pression maxima de $5^k,23$ et montré que la section adoptée était encore un peu trop petite.

Partout on adoptait les chiffres de 400 kilogrammes pour les épreuves de poids mort et de 5 kilogrammes pour le travail à la clef.

Nous pouvons citer en première ligne, parmi les ouvrages les plus importants auxquels ils avaient été appliqués, la voie charretière du grand viaduc du Var dont il a déjà été question ci-dessus. Ce n'est que pour des raisons toutes particulières, et sur la demande même du constructeur, que pour les deux ponts de Solferino et de Saint-Louis la charge morte avait été portée à 600 kilogrammes par mètre carré.

Partout on négligeait d'imposer des épreuves par poids roulant (*).

Partout enfin on laissait au constructeur la plus grande latitude.

On savait qu'il établissait ses calculs dans des hypothèses simples, par des méthodes expéditives, laissant beaucoup à désirer comme exactitude; mais on s'en contentait.

On se regardait comme suffisamment garanti contre toute éventualité par l'engagement qu'il prenait de répondre de la bonne conservation des ouvrages sous les effets de la circulation pendant dix ans (*art.* 12 *de la soumission du pont des Phocéens*).

Tout autres sont les conditions dans lesquelles a été établi le pont Garibaldi.

(*) Notons en passant que les épreuves par poids roulant, telles qu'elles sont prescrites par la circulaire du 15 juin 1869, sont difficilement réalisables. Au pont Garibaldi nous y avons employé un rouleau compresseur et une charrette à deux roues de $0^m,20$ de largeur de jante; chacun de ces véhicules avec son chargement pesait 11 tonnes; le rouleau seul a pu traverser le pont; les roues de la charrette, malgré leur largeur peu ordinaire, ont coupé la chaussée et s'y sont enfoncées jusqu'aux voûtes en briques. Les épreuves de cette nature, si l'on veut les faire avant que la circulation ait durci la chaussée, ne peuvent guère l'être qu'au moyen de rouleaux compresseurs.

Les bases des calculs ont été celles imposées par la circulaire du 15 juin 1869. Si elles ne différaient pas des anciennes pour les épreuves de poids mort, elles s'en écartaient considérablement pour celles de poids roulant.

Leur application a eu pour résultat une très-forte augmentation dans la section des éléments du tablier (*poutrelles en fer et voûtes en briques*) et une petite dans celle des arcs, conséquence immédiate de la première.

D'un autre côté, on ne s'est pas contenté d'opérer sur des moyennes; on a cherché les valeurs maxima des pressions et des tensions.

Cette analyse a surtout influé sur les arcs; leur section s'en est trouvée notablement accrue (*).

Les calculs ont été faits par les ingénieurs des ponts et chaussées (**).

Toutes les combinaisons possibles dans la distribution des charges ont été épuisées; on a pris les plus défavorables.

Le projet, une fois approuvé par l'administration supérieure, a été mis à l'adjudication.

M. Chayet, directeur de la fonderie de Fourchambault (Nièvre), a été déclaré adjudicataire.

. . . .

(*) Il n'est pas sans intérêt d'observer que cet accroissement est dû uniquement aux pressions.

On n'a pas trouvé de tensions dans le sens longitudinal. Quant aux tensions transversales, c'est-à-dire dirigées dans le sens du rayon, elles sont restées partout de beaucoup inférieures au maximum fixé par la circulaire de 1869, bien que ce maximum ait été abaissé à un degré qui a provoqué une certaine surprise lors de l'apparition de la circulaire. Le chiffre le plus élevé des tensions a été de $0^k,038$; il y a loin de là au maximum de 1 kilog. imposé par l'administration.

(**) Ingénieur en chef : M. Delestrac. — Ingénieur ordinaire : M. Cameré, aujourd'hui à la Société du Crédit Mobilier.

Nous n'avons participé à la construction de cet ouvrage que pour surveiller, lors du départ de M. Cameré, la pose de la partie métallique et l'établissement de la superstructure.

Pour bien faire saisir toutes les différences que présente la composition des deux ponts, nous devrions les décrire successivement.

Mais comme, en définitive, leurs dispositions générales sont les mêmes, que les différences portent surtout sur les dimensions de détail, nous nous contenterons de décrire l'un d'eux et nous choisirons de préférence le pont Garibaldi, parce qu'à tous égards il a réalisé un progrès sur le pont des Phocéens.

Puis nous montrerons en quoi les deux ponts diffèrent.

. . . .

Le pont Garibaldi se compose, ainsi que nous avons déjà eu occasion de le dire, de trois arches de 21^{m},20 d'ouverture et de 2^{m},10 de flèche.

Pour ne pas tronquer la description d'un ouvrage de cette importance, nous croyons utile, sauf à ne plus y revenir, de donner quelques renseignements sur les maçonneries qui supportent les arches.

Elles ont été supérieurement traitées d'après un type d'une certaine originalité émané du conseil général des ponts et chaussées; la Pl. n° 19, *fig.* 17, en donne une idée suffisante pour qu'on puisse en faire l'application à d'autres projets.

Les arches, dont les naissances sont placées à 2^{m},45 en contre-haut de l'étiage conventionnel du Paillon, reposent : 1° sur deux piles dont la largeur s'accroît suivant un fruit de 1/20 depuis le cordon des naissances, où elle est de 1^{m},74 jusqu'à la base, où elle devient 1^{m},93 ; 2° par deux culées de 8 mètres d'épaisseur à la base et en saillie sur le parement des murs de quai du Paillon de la demi-largeur d'une pile, soit de 0^{m},87 suivant la ligne des naissances.

Les piles et les culées ont été fondées sur des massifs de maçonnerie de 2 mètres d'épaisseur, reposant eux-mêmes sur des massifs de béton de 1 mètre d'épaisseur et dont l'empatement a été calculé de façon que la pression

sur le sol ne dépassât pas $2^{k},40$ par centimètre carré au moment des épreuves.

Les fondations sont garnies d'enrochements sur tout leur pourtour.

Revenons maintenant à la charpente métallique, dont nous avons déjà indiqué les lignes principales.

La hauteur des cinq arcs qui composent chaque arche est uniformément pour tous et sur toute leur longueur, sauf dans le voisinage de la clef, où ils portent une partie des tympans venue de fonte, de $0^{m},65$. Mais leur épaisseur varie d'un arc à l'autre ; elle est de $0^{m},040$ pour l'arc central, de $0^{m},030$ pour les arcs intermédiaires et de $0^{m},025$ pour les arcs de tête.

Les nervures qui règnent à la partie supérieure et à la partie inférieure des arcs, sur toute leur longueur, ont une largeur de $0^{m},30$ dans l'arc central et de $0^{m},20$ dans les arcs intermédiaires et dans ceux de rive. Leur épaisseur dans chacun des arcs est sensiblement la même que celle de l'âme.

Les voussoirs de tous les arcs sont pleins et renforcés par des nervures dirigées suivant les rayons.

Sur les arcs sont boulonnés des tympans consistant en des plaques évidées, en fonte, également renforcées par des nervures.

Le plancher est formé de petites voûtes en briques de Montchanin (Bourgogne), maçonnées au mortier de ciment de Grenoble, et supportées par des poutrelles en fer reposant sur les arcs.

Les poutrelles de chaussée ont une hauteur de $0^{m},40$, une largeur de semelle de $0^{m},147$, une épaisseur d'environ $0^{m},020$.

Celles des trottoirs ont une hauteur de $0^{m},26$, une largeur de semelle de $0^{m},130$, une épaisseur d'environ $0^{m},012$.

Les poutrelles de chaussée présentent une disposition spéciale qui mérite d'être signalée.

Tandis que dans le voisinage du sommet de chaque arche elles sont interrompues, suivant l'usage ordinaire, au droit de l'arc central, prenant leurs points d'appui d'un côté sur cet arc, de l'autre sur les arcs intermédiaires, — dans le voisinage des piles et des culées, elles courent sans interruption d'un tympan intermédiaire au tympan symétrique, *par-dessus* le tympan central, et se trouvent de la sorte placées dans de meilleures conditions de résistance.

Une autre disposition nouvelle et digne de remarque consiste dans le remplacement de la dernière voûte en briques que l'on construit habituellement contre les culées et les piles, par une série de plaques jointives en fonte, un peu arquées, solidement boulonnées sur la charpente métallique et complétement indépendantes des maçonneries. Les arcs supportent ainsi d'une manière permanente la totalité de la charge du pont; ce qui assure le libre jeu de la construction sous l'action des forces extérieures et de la température, et prévient des disjonctions ou des fissures.

A cette description ajoutons, pour faire pendant aux renseignements sommaires donnés plus haut sur les maçonneries inférieures du pont, quelques détails analogues pour la superstructure. Tous ne sont, du reste, pas étrangers à la question spéciale que nous avons en vue; nous devrons en effet dans notre comparaison tenir compte des différences que présente dans les deux ponts l'épaisseur des voûtes en briques et qui sont, elles aussi, une conséquence des nouvelles instructions ministérielles.

L'épaisseur des voûtes de chaussée est de $0^m,21$, soit d'une hauteur de brique; celle des voûtes de trottoir est de $0^m,10$, soit d'une largeur de brique; leur portée varie de $1^m,65$ à $1^m,84$; leur flèche est de $0^m,18$ pour les voûtes de chaussée, et de $0^m,16$ pour les voûtes de trottoir.

Les voûtes de chaussée sont recouvertes d'une chape en béton de ciment, bombée en son milieu, de manière à ramener les eaux d'infiltration vers les trottoirs et réglée,

au pied des trottoirs, suivant des plans inclinés destinés à conduire ces mêmes eaux devant chacune des poutrelles qui séparent les petites voûtes; là ces eaux sont reçues dans des tuyaux en poterie traversant les voûtes et les dépassant de quelques centimètres pour fonctionner à la façon de larmiers.

Au-dessus de la chape, un matelas de sable dont l'épaisseur est de $0^m,10$ sur l'axe longitudinal du pont et va en s'amincissant de chaque côté de cet axe, sert d'assiette à une chaussée en porphyre de l'Estérel de $0^m,20$ d'épaisseur.

La chaussée est bordée par deux caniveaux en dalles de la Spezzia de $0^m,10$ d'épaisseur et de $0^m,50$ de largeur reposant sur une couche de sable de $0^m,10$ d'épaisseur.

Une gargouille fermée par une plaque en fer évidée a été ménagée à l'extrémité de chaque arche, sur chacun des caniveaux, pour donner écoulement, à travers le pont, aux eaux de superficie.

Les voûtes de trottoir sont recouvertes d'une chape en béton de menu gravier et de chaux hydraulique du Theil, puis d'une aire en asphalte de $0^m,015$ d'épaisseur.

Les trottoirs sont séparés de la chaussée par une bordure en pierres de taille de la Turbie de $0^m,32$ de hauteur totale, en saillie de $0^m,19$ sur le fond des caniveaux.

Le poids total d'une arche est de 305 tonnes.

Les renseignements qui précèdent, sans être tous indispensables, sont bons à connaître pour savoir exactement à quel genre de travail on a affaire. N'auraient-ils d'autre résultat que de montrer qu'à part quelques détails ingénieux, on se trouve ici en présence du type ordinaire des ponts en fonte, que leur utilité serait par cela seul mise hors de doute.

Le pont des Phocéens est encore plus voisin des types connus. Aussi nous bornerons-nous, en ce qui le concerne, aux quelques données suivantes :

La hauteur des cinq arcs de chaque arche est uniformément de $0^m,65$ comme au pont Garibaldi. Mais l'épaisseur de l'âme, la largeur et l'épaisseur des nervures horizontales sont bien moindres.

Pour ne parler que de l'arc central, le plus chargé des cinq, l'épaisseur de l'âme est de $0^m,028$ (au pont Garibaldi elle est de $0^m,040$); la largeur des nervures horizontales est de $0^m,20$; leur épaisseur est de $0^m,030$ (au pont Garibaldi, la largeur des nervures est de $0^m,30$, leur épaisseur de 0^m040); d'où résulte pour la section une surface de. . . . . $28.520^{mm.c}$, tandis qu'au pont Garibaldi, elle atteint. . . $46.800^{mm.c}$.

Les poutrelles de chaussée sont d'un type relativement fort petit; pour les trottoirs, on s'est contenté de fers Zorès.

Toutes les voûtes, tant celles de chaussée que celles de trottoir, ont $0^m,11$ d'épaisseur seulement.

Le poids total d'une arche est de 235 tonnes.

Le tableau suivant permettra de se faire d'un seul coup d'œil, par le rapprochement des chiffres qu'il renferme, une idée exacte de l'importance relative de la charpente métallique dans les deux ponts.

Nous devons à l'obligeance de M. Georges Martin les chiffres relatifs au pont des Phocéens. Ceux relatifs au pont Garibaldi ont été pris dans le décompte, dressé par nous, de l'entreprise Chayet.

DÉSIGNATION des éléments.	PONT GARIBALDI.			PONT DES PHOCÉENS.		
	Fonte.	Fers laminés.	Fers forgés.	Fonte.	Fers laminés.	Fers forgés.
	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
Arcs.	114.374			73.900		
Tympans.	46.310			33.150		
Entretoises.	18.289			10.470		
Corniches.	22.874			13.200		
Garde-corps.	18.803					5.200
Plaques de plancher. . .	14.693					
Limaille.	3.600			2.500		
Poutrelles.		42.271			13.850	
Boulons, cales, etc. . . .			5.489			2.500
	238.943	42.271	5.489	133.220	13.850	7.700
Poids total de la charpente métallique. . . .	286.703			154.770		

La différence de ces deux totaux est considérable.

Elle ne saurait être mise tout entière, dira-t-on peut-être, au compte de l'application du nouveau programme ministériel ; car des considérations architectoniques jouent ici un certain rôle, et l'on aurait pu, par exemple, sans altérer en rien la solidité du pont Garibaldi, réduire l'importance des corniches et des garde-corps.

Sans aucun doute ; mais l'effet eût été moins satisfaisant.

Tout se tient dans un ouvrage exécuté avec goût. Un pont massif dans ses parties principales doit l'être aussi dans ses parties accessoires.

En admettant cette manière de voir, qui nous paraît être de bonne doctrine, on est autorisé à conclure que, pour le type dont nous nous occupons, l'application de la circulaire du 15 juin 1869 a eu pour effet d'augmenter le poids de la charpente métallique dans la proportion de 1,85 à 1.

Que si l'on passe de la comparaison des poids à celle des dépenses, l'objection tombe d'elle-même au moins pour l'élément auquel elle s'applique le plus directement, le garde-corps ; et en effet, si le garde-corps du pont des Phocéens est de trois à quatre fois plus léger que celui du pont Garibaldi, par contre, comme il est en fer ouvragé,

son prix est de trois à quatre fois plus fort, de sorte que la compensation s'établit dans les deux types.

La dépense de la charpente métallique du pont Garibaldi a été de 95.800 francs, savoir :

	francs.
236.543 kil. de fonte à 0f,301 le kil. (les 3.600 kil. de limaille ayant été comptabilisés pour 1.200 kil. seulement pour l'application du prix de 0f,301).	71.199,44
42.271 kil. de fer laminé, à 0f,482 le kil.	20.374,62
5.489 kil. de fer forgé, à 0f,774 le kil.	4.248,49
Total.	95.822,55

Soit en nombres ronds : 95.800 francs.

Les fers se vendaient plus cher à l'époque où fut construit le pont des Phocéens qu'au moment où fut adjugé le pont Garibaldi. Mais pour la comparaison que nous voulons établir, nous devons appliquer les mêmes prix élémentaires aux deux ouvrages.

En opérant de cette façon et en estimant à 1f,10 le prix du kilogramme de fer ouvragé pour garde-corps, il vient pour la dépense de la charpente métallique du pont des Phocéens :

	francs.
131.555 kil. de fonte, à 0f,301 le kil. (les 2.500 kil. de limaille étant comptés comme 835 kil. de fonte).	39.598,05
13.850 kil. de fer laminé, à 0f,482 le kil.	6.675,70
2,500 kil. de fer forgé, à 0f,774 le kil..	1.935,00
5.200 kil. de fer ouvragé, à 1f,10 le kil..	5.720,00
Total.	53.928,75

Soit en nombres ronds : 53.900 francs.

La dépense de la charpente métallique varie donc d'un pont à l'autre dans le rapport de 1,78 à 1.

Si au lieu de comparer l'ensemble des dépenses de la charpente, on considère isolément les arcs, on trouve que le poids et la dépense varient dans le rapport de 1.55 à 1 ; ce rapport s'élève jusqu'à 3,05 si l'on compare seulement les poutrelles.

C'est en effet sur les poutrelles que les nouvelles instructions ont exercé la plus grande influence.

Celles du pont Garibaldi atteignent des proportions considérables auxquelles on est peu habitué dans la pratique, et leur approvisionnement n'a pas laissé que de présenter de sérieuses difficultés (*).

Un élément auquel, en dehors de la charpente métallique proprement dite, la circulaire du 15 juin 1869 a apporté une modification considérable, ce sont les petites voûtes en briques.

Les hypothèses faites sur la force et la position des chariots dans l'épreuve par poids roulant ont conduit à donner aux voûtes de la chaussée du pont Garibaldi une épaisseur double de celle qui avait été adoptée au pont des Phocéens.

La dépense de la construction des voûtes du pont Garibaldi s'est élevée à 12,700 francs environ.

En prenant le même prix par mètre cube pour les voûtes du pont des Phocéens, on trouve qu'elles auraient coûté seulement 8.000 francs.

Ainsi la somme des éléments sur lesquels l'instruction de 1869 influe d'une manière plus ou moins directe est réprésentée par les chiffres de dépense suivants :

Pour le pont Garibaldi.	95.800f	+	12.700f	ou	108.500f
Pour le pont des Phocéens. .	53.900	+	8.000	ou	61.900

Le rapport de ces deux nombres est de 1,75.

(*) Tous les rapports que nous examinons eussent été plus forts encore, si l'on avait voulu se renfermer strictement dans les conditions du programme ministériel pour la détermination des éléments du pont Garibaldi.

En se reportant aux calculs de résistance, on voit que dans les arcs, la pression sur plusieurs points dépasse notablement 5 kilog., qu'elle atteint jusqu'à 5k,23, même en négligeant les effets de la température; que dans les poutrelles qui ne s'appuient pas sur l'arc central, le travail aux points d'appui est de 7k,58, bien supérieur à la limite de 6 kilog. indiquée par l'administration.

En d'autres termes, l'application des prescriptions ministérielles a eu pour effet d'augmenter des 3/4 de sa valeur la dépense de l'ensemble des éléments qu'elle affecte dans les ponts en fonte du type dont il s'agit.

On se demandera peut-être, quoique ce soit d'un intérêt relativement moindre, ce que deviendrait ce rapport si l'on comparait les dépenses de la totalité des ouvrages.

Il est facile de voir que, même dans les conditions de luxe dans lesquelles ont été établies les maçonneries du pont Garibaldi, il reste encore bien supérieur à l'unité.

Le montant total des travaux de ce pont et de la régularisation de ses abords s'est élevé en effet à 211.000 francs, décomposables en 108.500f + 102.500f.

La dépense du pont des Phocéens, en supposant qu'il eût été construit, quant aux fondations, aux maçonneries, à la chaussée et aux raccordements avec les abords, dans les mêmes conditions que le pont Garibaldi, se serait élevée à :

61.900f + 102.500f ou 164.400f (*).

Le rapport de ces deux nombres est de 1,28.

L'augmentation de dépense rapportée au montant de la construction de l'ouvrage, supposé établi d'après les anciens errements, est donc de plus du quart de ce montant.

On voit que si l'on n'y prenait pas garde, on s'exposerait à commettre de graves erreurs, en se servant aujourd'hui, sans les affecter d'un coefficient de correction, des données fournies par des ouvrages datant d'avant 1869.

C'est là surtout la conclusion que nous voulons tirer de cette première note.

(*) Le montant du forfait intervenu entre la ville de Nice et M. Georges Martin était de 218.000 francs.

NOTE II.

Recherche de la tension maximum produite dans un arc métallique par un poids uniformément réparti suivant la corde.

Avant 1869 il était d'usage d'admettre dans les calculs de résistance des diverses pièces des ponts métalliques la même limite pour les pressions et pour les tensions.

On l'admettait non-seulement pour le fer, mais aussi pour la fonte, qui se comporte pourtant d'une manière si différente à la compression et à l'extension. On adoptait pour la limite commune des pressions et des tensions auxquelles ce métal peut être soumis sans danger le chiffre de 5 kilogrammes par millimètre carré.

La théorie et la pratique apprenant du reste que des trois quantités qui interviennent dans le calcul des arcs, à savoir : les pressions longitudinales, les tensions longitudinales et les tensions transversales, les premières l'emportent de beaucoup sur les deux autres, on se contentait généralement, pour déterminer la section des arcs, de raisonner sur les pressions.

Les formules et les tables du *Cours de mécanique appliquée* de M. Bresse, permettaient de trouver dans un temps fort court la valeur maximum des pressions d'où l'on déduisait les dimensions de la section des arcs.

La circulaire du 15 juin 1869 est venue modifier les habitudes antérieures.

En indiquant deux limites fort différentes, variant du simple au quintuple, pour les tensions et les pressions auxquelles peut être soumise la fonte, elle a imposé l'obligation de tenir compte des tensions dans les calculs.

Il est donc devenu nécessaire, pour répondre complétement au désir de l'administration, de montrer, dans les

rapports à l'appui des projets, non-seulement que les pressions ne dépassent pas 5 kilogrammes, mais encore que les tensions sont inférieures à 1 kilogramme.

Le cours de M. Bresse ne renfermant, pour les tensions, ni formules, ni tables analogues à celles des pressions, on se voit conduit, pour obtenir les maximums des tensions, à des calculs de longue haleine; on détermine par les méthodes générales les valeurs des tensions dans un certain nombre de sections suffisamment rapprochées pour en déduire le maximum par interpolation ou graphiquement.

Or il arrive généralement que ces laborieuses recherches n'aboutissent pas à autre chose qu'à montrer que les sections adoptées par la considération des pressions satisfont largement à la condition imposée pour les tensions.

Et nous entendons parler ici non-seulement des tensions transversales, pour lesquelles cela n'a rien que de très-attendu, ces tensions étant toujours fort petites, mais encore des tensions longitudinales.

Le plus souvent même, ces dernières restent bien inférieures au maximum obligatoire, malgré l'abaissement que lui a fait subir l'instruction de 1869. Bien mieux, il n'est pas rare que les calculs ne servent qu'à apprendre qu'il n'en existe pas.

On est donc exposé à se donner beaucoup de peine pour un bien mince résultat.

Dans ces circonstances, il paraît naturel de se demander s'il ne serait pas possible de simplifier la recherche des maximums des tensions comme on a déjà simplifié celle des maximums des pressions.

On y parvient aisément en employant le même mode d'analyse que M. Bresse.

Il faut considérer ce qui va suivre comme formant un article additionnel au paragraphe II du chapitre V de son cours; et nous entrerons de suite en matière, sans nous

attarder à expliquer les notations que nous emploierons et qui sont pour ainsi dire devenues classiques.

Nous profiterons aussi des développements que notre ancien professeur a été amené à donner dans le paragraphe II précité pour abréger notre exposé et pour lui conserver le caractère de note.

Rien ne sera plus facile au besoin que de se reporter au cours de l'école.

Disons dès à présent que nous avons appliqué au pont Garibaldi les formules que nous allons faire connaître, et qu'il nous a suffi de trois ou quatre heures pour déterminer les maximums des tensions tant longitudinales que transversales dans les trois types d'arcs qui entrent dans ce pont.

On se trouve du reste ici dans le cas que nous venons de signaler comme se présentant fréquemment dans la pratique; il n'existe nulle part de tension longitudinale dans les arcs; nous verrons plus loin ce que donnent alors nos formules au lieu du maximum des tensions longitudinales.

1° RECHERCHE DE LA TENSION LONGITUDINALE MAXIMUM.

L'expression générale des efforts qui s'exercent dans le sens de l'arc, c'est-à-dire des pressions et des tensions longitudinales, est :

$$\frac{NE}{e} \pm \frac{XEu}{er^2}.$$

Les résultats négatifs correspondent à des pressions; les résultats positifs à des tensions.

N est toujours négatif.

Les tensions ne peuvent donc naître que de la combinaison des valeurs de $\frac{NE}{e}$ avec les valeurs positives de $\pm\frac{XEu}{er^2}$.

Il faut par conséquent, avant tout, chercher le signe de X, afin de savoir lequel des deux signes + ou — il sera nécessaire de prendre pour que $\pm \frac{XEu}{er^2}$ soit positif.

M. Bresse démontre : 1° que dans le cas où l'on a $n > \frac{1}{2} \cot \varphi$, il existe un angle α_1 pour lequel X s'annule ; et qu'entre $\alpha = 0$ et $\alpha = \alpha_1$, X est positif, tandis qu'il est négatif entre $\alpha = \alpha_1$ et $\alpha = \varphi$.

L'angle α_1 est donné par la relation

$$\cos \alpha_1 = 4n \sin \varphi - \cos \varphi ;$$

2° Que dans le cas où on a : $n < \frac{1}{2} \cot \varphi$, X est toujours positif.

De là il résulte que dans le cas de $n > \frac{1}{2} \cot \varphi$, les tensions ne peuvent résulter que des combinaisons suivantes :

$$1° \text{ entre } \alpha = 0 \text{ et } \alpha = \alpha_1 \quad t = \frac{E_1}{e}\left(N + \frac{Xh}{2r^2}\right),$$

$$2° \text{ entre } \alpha = \alpha_1 \text{ et } \alpha = \varphi \quad t' = \frac{E_1}{e}\left(N - \frac{Xh}{2r^2}\right),$$

la première s'appliquant à l'intrados, la seconde à l'extrados, et que dans le cas de $n < \frac{1}{2} \cot \varphi$ les tensions ne peuvent résulter que de la combinaison :

$$t = \frac{E_1}{e}\left(N + \frac{Xh}{2r^2}\right),$$

s'appliquant à l'intrados sur toute la longueur de l'arc.

Examinons successivement chacun de ces cas :

Premier cas : $n > \frac{1}{2} \cot. \varphi.$

En remplaçant N et X par leurs valeurs en fonction de α et ordonnant par rapport à $\cos \alpha$, on aura :

$$t = \frac{p\rho E_1}{e}\left[\left(1 + \frac{\rho h}{4r^2}\right)\cos^2\alpha - \left(1 + \frac{\rho h}{2r^2}\right)2n \sin\varphi \cos\alpha - \right.$$
$$\left. - 1 + \frac{\rho h}{4r^2}\cos\varphi\,(4n\sin\varphi - \cos\varphi)\right],$$

$$t' = \frac{p\rho E_1}{e}\left[-\left(-1 + \frac{\rho h}{4r^2}\right)\cos^2\alpha + \left(-1 + \frac{\rho h}{2r^2}\right)2n \sin\varphi \cos\alpha - \right.$$
$$\left. - 1 - \frac{\rho h}{4r^2}\cos\varphi\,(4n\sin\varphi - \cos\varphi)\right].$$

Il s'agit d'avoir le maximum maximorum de ces deux expressions quand α varie entre les limites auxquelles elles s'appliquent.

Si l'on considère t et t' comme les ordonnées de deux courbes dont les valeurs de $\cos \alpha$ seraient les abscisses, il est aisé de voir que les deux équations précédentes sont celles de deux paraboles dont la première tourne sa concavité vers le haut, tandis que la seconde la tourne vers le bas.

Considérons la première parabole.

Pour $\alpha = \alpha_1$, X s'annule; donc t se réduit à $\frac{NE_1}{e}$; par suite il est négatif et ne saurait représenter une tension.

De ce seul fait et de la forme de la parabole concave vers le haut il résulte que la plus grande des tensions, s'il en existe, se trouve à la clef et à l'intrados.

Sa valeur s'obtiendra en faisant $\alpha = 0$ dans l'expression de t; en la représentant par t_0, on aura :

$$t_0 = \frac{p\rho E_1}{e}\left[\left(1 + \frac{\rho h}{4r^2}\right) - \left(1 + \frac{\rho h}{2r^2}\right)2n \sin\varphi - \right.$$
$$\left. - 1 + \frac{\rho h}{4r^2}\cos\varphi\,(4n\sin\varphi - \cos\varphi)\right] =$$
$$= \frac{pa E_1}{e}\left[-2n + \frac{ah}{4r^2}\left(1 - 4n \operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right)\right].$$

Considérons maintenant la seconde parabole.

Pour $\alpha = \alpha_1$ et pour $\alpha = \varphi$, X s'annule; donc t' se réduit pour ces deux points à $\frac{NE_1}{e}$; par suite il est négatif et ne saurait représenter une tension.

De ce seul fait et de la forme de la parabole concave vers le bas, il résulte que la plus grande des tensions, s'il en existe, correspond au point où la tangente est horizontale; elle est d'ailleurs sur l'extrados.

Nous devons donc chercher s'il peut exister sur la portion de courbe considérée une tangente horizontale.

Pour cela, égalons à zéro l'expression dérivée de t' par rapport à $\cos \alpha$; il viendra :

$$\left(-1 + \frac{ph}{4r^2}\right)\cos \alpha_2 - \left(-1 + \frac{ph}{2r^2}\right) n \sin \varphi = 0,$$

d'où

$$\cos \alpha_2 = n \sin \varphi \frac{-1 + \frac{ph}{2r^2}}{-1 + \frac{ph}{4r^2}}.$$

Pour que cette valeur soit admissible, il faut qu'on ait à la fois

$$\cos \alpha_2 < \cos \alpha_1,$$
$$> \cos \varphi.$$

Cette dernière inégalité se transforme dans les suivantes :

$$n \sin \varphi \frac{-1 + \frac{ph}{2r^2}}{-1 + \frac{ph}{4r^2}} > \cos \varphi.$$

$$n > \frac{1}{2} \cot \varphi \left(1 - \frac{2 \sin \varphi}{-2 \sin \varphi + \frac{ah}{r^2}}\right).$$

La première inégalité donne :

$$n \sin \varphi \frac{-1 + \frac{\rho h}{2r^2}}{-1 + \frac{\rho h}{4r^2}} < 4n \sin \varphi - \cos \varphi,$$

$$n > \frac{1}{2} \cot \varphi \left(1 + \frac{2 \sin \varphi}{-6 \sin \varphi + \frac{ah}{r^2}} \right).$$

Si cette inégalité est satisfaite, la première le sera *à fortiori*, et il y aura une tangente horizontale entre les limites α_1 et φ.

Mais il ne s'ensuit pas nécessairement que cette tangente corresponde à une tension.

Il y aura, pour s'en assurer, à calculer la valeur de

$$t' \text{ pour } \cos \alpha = \cos \alpha_2 = n \sin \varphi \frac{-1 + \frac{\rho h}{2r^2}(*)}{-1 + \frac{\rho h}{4r^2}}.$$

Cette valeur de t' prend une forme assez simple et qui, pour la plupart des cas, sera suffisamment approchée si l'on adopte pour $\cos \alpha_2$ la valeur $2n \sin \varphi$. On a alors :

$$t'_2 = \frac{p\rho E_1}{e} \left[-\left(-1 + \frac{\rho h}{4r^2}\right) 4n^2 \sin^2 \varphi + \left(-1 + \frac{\rho h}{2r^2}\right) 4n \sin^2 \varphi - 1 - \frac{\rho h}{4r^2} \cos \varphi (4n \sin \varphi - \cos \varphi) \right] =$$

$$= \frac{paE_1}{e} \left[-\frac{1}{\sin \varphi} + \frac{ah}{r^2} \left(n - \frac{1}{2} \cot \varphi \right)^2 \right].$$

(*) Il est à observer que la section dans laquelle se produit sur les reins le maximum de tension n'est pas la même que celle dans

Quand on aura calculé soit exactement, soit approximativement la valeur de t'_2, on la comparera à celle de t_0; la plus grande des deux valeurs positives résoudra le problème.

La valeur de t'_2, si elle est négative, représentera, non plus le maximum des tensions, mais le minimum des pressions à l'extrados entre $\alpha = \alpha_1$ et $\alpha = \varphi$.

Si la condition

$$n > \frac{1}{2} \cot \varphi \left(1 + \frac{2 \sin \varphi}{-6 \sin \varphi + \frac{ah}{y^2}} \right)$$

n'est pas satisfaite, la parabole n'a pas de tangente horizontale entre α_1 et φ; elle est donc forcément, dans toute la portion que comprennent ces limites, située au-dessous de l'axe des abscisses; les valeurs de t' sont donc toutes négatives et ne peuvent représenter des pressions.

Dès lors la plus grande des tensions, s'il en existe, se trouve sur la première parabole et à la clef.

Il est facile de voir que, dans ce dernier cas, la tangente

---

laquelle se produit le maximum de pression; l'angle correspondant à la première a pour cosinus

$$n \sin \varphi \frac{-1 + \frac{\rho h}{2r^2}}{-1 + \frac{\rho h}{4r^2}},$$

tandis que le cosinus de l'angle correspondant à la seconde est

$$n \sin \varphi \frac{1 + \frac{\rho h}{2r^2}}{1 + \frac{\rho h}{4r^2}}.$$

Seulement ces deux sections sont très-voisines, puisque ces cosinus sont tous les deux à peu près égaux à $2n \sin \varphi$, et elles sont situées d'un côté différent par rapport à celle dont le cosinus est égal à $2n \sin \varphi$.

horizontale correspond au point où se produit la pression minimum à l'extrados entre $\alpha = 0$ et $\alpha = \alpha_1$.

Car la parabole qui donne les pressions à l'extrados entre $\alpha = 0$ et $\alpha = \alpha_1$ n'est autre que celle que nous venons de considérer.

En résumé, dans le cas où l'on a $n > \frac{1}{2} \cot \varphi$, la tension la plus grande, s'il existe des tensions, se trouve soit à la clef à l'intrados, soit sur les reins à l'extrados : à la clef et à l'intrados si, tout en ayant $n > \frac{1}{2} \cot \varphi$, on a

$$n < \frac{1}{2} \cot \varphi \left(1 + \frac{2 \sin \varphi}{-6 \sin \varphi + \frac{ah}{r^2}} \right);$$

à la clef et à l'intrados ou sur les reins et à l'extrados, si l'on a :

$$n > \frac{1}{2} \cot \varphi \left(1 + \frac{2 \sin \varphi}{-6 \sin \varphi + \frac{ah}{r^2}} \right).$$

Dans ce dernier cas, on aura à calculer les valeurs de t sur deux points pour les comparer entre elles.

Dans le premier cas, il suffira de calculer la valeur de t pour $\alpha = 0$.

Deuxième cas : $n < \frac{1}{2} \cot \varphi$.

Dans ce cas, on a à considérer seulement l'expression

$$t = \frac{E_1}{e} \left(N + \frac{Xh}{2r^2} \right).$$

Elle représente une parabole tournant sa concavité vers le haut.

Pour $\alpha = \varphi$, X s'annule; donc t se réduit à $\frac{NE_1}{e}$; par suite il est négatif et ne saurait représenter une tension.

De ce seul fait et de la forme de la courbe concave vers le haut, il résulte que le maximum des tensions, s'il en existe, ne peut se trouver qu'à la clef.

Il correspond du reste à l'intrados et a pour expression :

$$t_0 = \frac{paE_1}{e}\left[-2n + \frac{ah}{4r}\left(1 - 4n \operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right)\right].$$

Toutes les considérations qui précèdent ressortiront avec la plus grande netteté et l'on saisira très-facilement le lien qui les unit à l'analyse de M. Bresse, si l'on veut bien se rendre compte, le crayon à la main, des positions respectives des deux paraboles représentatives des pressions et des tensions. Il faudra seulement avoir le soin, dans cette étude, de tracer, non pas les portions de parabole considérées par M. Bresse, mais leurs symétriques par rapport à l'axe des abscisses. (Voir au surplus la note IV ci-après).

2° RECHERCHE DE LA TENSION TRANSVERSALE MAXIMUM.

L'expression générale des tensions qui s'exercent dans le sens du rayon, autrement dit des tensions transversales ou efforts tranchants est :

$$\begin{aligned} P &= Q \sin\alpha - p\rho \sin\alpha \cos\alpha, \\ &= \sin\alpha (Q - p\rho \cos\alpha). \end{aligned}$$

Aux naissances, on a pour la tension transversale :

$$P = \sin\varphi\,(Q - p\rho\cos\varphi) = pa(2n\sin\varphi - \cos\varphi).$$

Elle est positive, nulle ou négative (*), suivant qu'on a :

$$n > \frac{1}{2}\cot\varphi;\quad n = \frac{1}{2}\cot\varphi;\quad n < \frac{1}{2}\cot\varphi.$$

(*) Nous adoptons pour le sens positif de P, celui de la circonférence vers le centre.

A la clef, la tension transversale est toujours nulle.

Elle est aussi nulle pour une valeur α_1, de l'angle α telle que

$$\cos \alpha_1 = \frac{Q}{p\rho} = 2n \sin \varphi.$$

Cette valeur correspond à la même section que celle où se produit le maximum du moment fléchissant.

Examinons successivement chacun des trois cas :

$$n \gtreqless \frac{1}{2} \cot \varphi.$$

Premier cas : $n > \frac{1}{2} \cot \varphi.$

La valeur de P est positive aux naissances. Elle est nulle à la clef.

Il reste à voir si elle est aussi nulle en un autre point sur les reins, en d'autres termes, si $\cos \alpha_1$ représente une valeur admissible.

Il faut pour cela la double condition

$$\cos \alpha_1 < 1$$
$$> \cos \varphi.$$

La première est toujours satisfaite.

Elle revient en effet à dire qu'il faut que $\frac{Q}{p\rho}$ soit < 1.

Or Q étant toujours $< \frac{pa^2}{2f}$ (*), si nous prouvons que $\frac{pa^2}{2f} \times \frac{1}{p\rho}$ est < 1, il en sera *à fortiori* de même de $\frac{Q}{p\rho}$.

(*) Cours de M. Bresse, 2e édit., p. 257.

Il suffit donc de prouver que l'on a :

$$\frac{pa^2}{2f} \times \frac{1}{p\rho} < 1,$$

ou $$\frac{1}{2} \times \frac{a}{f} \times \frac{a}{\rho} < 1,$$

ou $$\frac{1}{2} \cot \frac{1}{2} \varphi \sin \varphi < 1,$$

ou $$\cos^2 \frac{1}{2} \varphi < 1;$$

Ce qui a toujours lieu.

D'un autre côté, la seconde condition $\cos \alpha_1 > \cos \varphi$ revient à celle-ci :

$$2n \sin \varphi > \cos \varphi,$$

$$\text{ou } n > \frac{1}{2} \cot \varphi;$$

ce qui est précisement l'hypothèse dans laquelle nous raisonnons.

Ainsi dans le cas où n est $> \frac{1}{2} \cot \varphi$, P, qui est dans tous les cas nul au sommet, s'annule une seconde fois en un point des reins.

Positif aux naissances jusqu'à ce point des reins, il est négatif entre ce point et le sommet de l'arc.

Si l'on veut traduire graphiquement ces circonstances, en prenant pour abscisses les développements des arcs correspondants aux angles α dans le cercle de rayon 1, pour ordonnées les valeurs de P, on aura la *fig.* 18 (*).

La valeur maximum de P sera ou bien aux naissances ou bien aux points à tangente horizontale.

(*) Analytiquement, la courbe $P = \sin \alpha (Q - p\rho \cos \alpha)$ est une sorte de sinusoïde, s'étendant à l'infini dans le sens des abscisses positives et des abscisses négatives ; nous n'avons à considérer ici que la partie réelle de cette courbe.

Cherchons ces derniers; voyons s'il peut en exister plusieurs. Ils sont donnés par l'équation dérivée par rapport à α :

$$Q \cos \alpha_2 + p\rho \sin^2\alpha_2 - p\rho \cos^2\alpha_2 = 0,$$

$$\text{ou } \cos^2\alpha_2 - \frac{Q}{2p\rho} \cos \alpha_2 - \frac{1}{2} = 0,$$

$$\text{d'où } \cos\alpha_2 = \frac{Q}{4p\rho} \pm \sqrt{\left(\frac{Q}{4p\rho}\right)^2 + \frac{1}{2}} = \frac{1}{2}\left(n \sin\varphi \pm \sqrt{n^2 \sin^2\varphi + 2}\right).$$

Le signe — du radical doit évidemment être rejeté; il correspond à une solution purement algébrique.

Il ne peut donc exister qu'un point à tangente horizontale. Ce point sera nécessairement situé sur la partie de courbe OI; il faudra donc que l'on ait à la fois :

$$\frac{1}{2}\left(n \sin \varphi + \sqrt{n^2 \sin^2\varphi + 2}\right) < 1,$$
$$> \cos \alpha_1.$$

Il est facile de s'assurer que ces deux inégalités sont satisfaites.

Deuxième cas : $n = \frac{1}{2} \cot \varphi.$

Dans ce cas, P est nul aux naissances et au sommet; le point I coïncide avec le point N; le maximum de P correspond nécessairement à un point des reins.

Cela exige que l'on ait à la fois

$$\cos \alpha_2 < 1$$
$$> \cos \varphi.$$

Ce qui se vérifie, comme on peut s'en convaincre aisément, en remarquant que, dans ce cas, la valeur de $\cos \alpha_2$, à cause de $n = \frac{1}{2} \cot \varphi$, peut s'écrire :

$$\cos \alpha_2 = \frac{1}{4}\left(\cos \varphi + \sqrt{\cos^2\varphi + 8}\right).$$

Tableau indiquant les seules recherches

Côté des arcs cintrés.

$n > \frac{1}{2}\cot\varphi$

- $n > \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1+\frac{2\sin\varphi}{2\sin\varphi+\frac{ah}{r^2}}\right)$
  - $n > \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1+\frac{2\sin\varphi}{-6\sin\varphi+\frac{ah}{r^2}}\right)$

    La pression … des deux vale…

    $q_1 = \frac{paE_1}{e}\Big[-$

    $q'_1 = \frac{paE_1}{e}\Big[-$

    q_1 et q'_1 seron…
  - $n < \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1+\frac{2\sin\varphi}{-6\sin\varphi+\frac{ah}{r^2}}\right)$ . . . .
- $n < \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1+\frac{2\sin\varphi}{2\sin\varphi+\frac{ah}{r^2}}\right)$ . . . .

  La pression … des deux vale…

  $q_1 = \frac{paE_1}{e}\Big[-$

  $q'_2 = \frac{paE_1}{e}\Big[-$

  q_1 et q_2 seron…

$n < \frac{1}{2}\cot\varphi$ . . . .

Côté des arcs surbaissés.

NOTE. — Le… *mensions usuell…* lorsque le rap… respondant à … pression maxi… qu'il faudra p… sera égal ou in… sement d'envir… trouvera toujo… servir de la for… duisant jamais…

Troisième cas : $n < \frac{1}{2} \cot \varphi$.

Dans ce cas, P est négatif aux naissances ; nul au sommet, il reste négatif dans toute l'étendue de l'arc. Le point I passe à la droite du point N.

Le maximum de P correspond au point à tangente horizontale, situé entre le sommet et les naissances, s'il existe un point de cette nature ; dans le cas contraire, il correspond aux naissances.

Il existera une tangente horizontale entre le sommet et les naissances tant qu'on aura $\alpha_2 < \varphi$, ou $\cos \alpha_2 > \cos \varphi$, ou

$$\frac{1}{2}\left(n \sin \varphi + \sqrt{n^2 \sin^2 \varphi + 2}\right) > \cos \varphi,$$

ou (continuant, pour abréger, à supprimer le développement et la justification des calculs) :

$$n > \cot 2\varphi.$$

Ce point se confondra avec les naissances mêmes, lorsque $\cos \alpha_2$ sera égal à $\cos \varphi$, lorsqu'on aura :

$$\frac{1}{2}\left(n \sin \varphi + \sqrt{n^2 \sin^2 \varphi + 2}\right) = \cos \varphi,$$

d'où

$$n = \cot 2\varphi.$$

Enfin, il cessera d'exister sur la partie réelle de la courbe, et le maximum de P restera aux naissances lorsqu'on aura $n < \cot 2\varphi$.

Ainsi, dans le cas de $n < \frac{1}{2} \cot \varphi$, le maximum se trouvera sur les reins, si en même temps que $n < \frac{1}{2} \cot \varphi$, on a $n > \cot 2\varphi$, et aux naissances, si l'on a $n \leqq \cot 2\varphi$.

(Voir la Note III, page 282 *bis*.)

NOTE IV.

Traduction graphique de la loi suivant laquelle varient avec n les positions respectives des paraboles représentatives des pressions et des tensions longitudinales.

Les courbes représentatives des pressions et des tensions longitudinales qui se produisent à l'extrados et à l'intrados des arcs métalliques uniformément chargés suivant la corde ne sont autre chose que des tronçons de deux paraboles à axe vertical, dont les équations sont les suivantes :

$$(1) \qquad K = \frac{paE_1}{e}\left(N + \frac{Xh}{2r^2}\right),$$

$$(2) \qquad K = \frac{paE_1}{e}\left(N - \frac{Xh}{2r^2}\right).$$

Il n'est pas sans intérêt d'exprimer graphiquement les changements qui surviennent dans les positions relatives de ces deux paraboles, à mesure que n varie. Ce mode de représentation fera toucher du doigt les résultats auxquels conduit l'analyse, et mettra en évidence quelques détails nouveaux.

Nous admettrons dans cette étude que les variations de n ont lieu parallèlement à celles du tableau de la note III; nous examinerons d'abord les cas où n dépasse $\frac{1}{2}\cot\varphi$, puis ceux où il est égal ou inférieur à $\frac{1}{2}\cot\varphi$.

Premier cas : $n > \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{-6\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right)$.

En se reportant au tableau de la note III et aux théories dont il est déduit, on voit que les deux paraboles ont une

tangente horizontale entre les mêmes limites $\cos\alpha_1$ et $\cos\varphi$, la parabole (1) au point μ', la parabole (2) au point μ de la *fig.* 20.

Le point μ' est toujours à gauche du point μ et à une faible distance. Car l'abcisse du point μ est

$$\cos\alpha_2 = n\sin\varphi\frac{-1+\frac{\rho h}{2r^2}}{-1+\frac{\rho h}{4r^2}},$$

tandis que celle du point μ' est

$$\cos\alpha'_2 = n\sin\varphi\frac{1+\frac{\rho h}{2r^2}}{1+\frac{\rho h}{4r^2}};$$

$\frac{\rho h}{4r^2}$ étant un nombre assez grand, ces deux cosinus diffèrent peu l'un et l'autre de $2n\sin\varphi$, le premier en plus, le second en moins.

Les deux paraboles occupent donc l'une par rapport à l'autre les positions représentées par la *fig.* 20 (*) :

Les portions de parabole tracées en traits pleins se trouvent forcément, non-seulement dans le cas actuel, mais toujours, situées au-dessous de l'axe des abscisses ; elles correspondent en tous leurs points à des pressions ; ce sont les symétriques de celles étudiées par M. Bresse dans son cours.

Celles marquées en points longs sont susceptibles de se trouver en partie au-dessus de l'axe des abscisses et de représenter des tensions. Mais le cas actuel est le seul où

(*) Dans toutes les figures de cette note, la parabole (1) est un peu moins ouverte que la parabole (2), parce que son paramètre est un peu plus petit que celui de cette dernière.

le point μ puisse se trouver au-dessus de l'axe des abscisses c'est-à-dire où la tension maximum puisse se trouver su les reins.

Les remarques qui précèdent relativement à la positio de l'axe des abscisses sont faites ici une fois pour toutes Dans tout ce qui va suivre, nous nous contenterons d représenter les courbes dans leurs parties véritablemen intéressantes, c'est-à-dire aux abords du fuseau qu'elle forment par leur intersection.

Cela nous permettra d'employer une échelle plus grande.

A la limite du cas qui nous occupe, c'est-à-dire lorsque $n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{-6\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right)$, les points I et μ se confondent; le sommet de la parabole (2) se trouve juste à l'extrémité droite du fuseau (*fig.* 19).

$$\textit{Deuxième cas : } n < \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{-6\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right),$$
$$> \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right).$$

La note III montre que, dans ce cas, la parabole (1) continue à avoir son sommet en μ' entre $\cos\alpha_1$ et $\cos\varphi$, mais qu'il n'en est plus de même de la parabole (2).

Les deux paraboles se coupent comme sur la *fig.* 21 :

A la limite du cas actuel,

$$\text{lorsque } n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right),$$

les points μ' et N se confondent; le sommet de la parabole (1) se trouve juste à l'extrémité gauche du fuseau (*fig.* 22).

Ces deux premiers cas comprennent les arcs que l'on pourrait appeler *cintrés*, cette expression n'ayant du reste rien d'absolu; avec les dimensions usuelles des sections, on est assuré, d'après les tableaux de M. Bresse, qu'un arc se trouve dans l'un de ces deux cas, lorsque le rapport de sa flèche à son ouverture reste compris entre $\frac{1}{2}$ (plein cintre) et $\frac{1}{4,6}$.

Ce n'est pas à dire qu'il ne puisse s'y trouver encore lorsque ce rapport est plus petit que $\frac{1}{4,6}$. Les mêmes tables montrent qu'avec certaines dimensions des arcs, ce rapport peut s'abaisser à $\frac{1}{8,3}$ (correspondant à $\frac{2\varphi}{\pi} = 0,30$), sans que le maximum de pression cesse de se trouver sur les reins.

$$\textit{Troisième cas : } n < \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right), \\ > \frac{1}{2}\cot\varphi.$$

La parabole (2) n'a plus son sommet entre $\cos\alpha_1$ et $\cos\varphi$; nous avons déjà vu le sommet μ sortir du fuseau par la droite; c'est maintenant le tour du sommet μ' d'en sortir par la gauche (*fig.* 23).

Les portions de parabole tracées en points ronds sont les prolongements théoriques, en dehors de l'arc, dans la culée, de celles qui sont tracées en traits pleins ou en points longs, et qui, elles, représentent des pressions ou des tensions réellement existantes.

A mesure que n s'approche de $\frac{1}{2}\cot\varphi$, le point I s'a-

vance vers le point N, les points μ et μ' marchent comme le point I vers la gauche.

A la limite, lorsque $n = \frac{1}{2} \cot \varphi$, les points N et I se confondent; les deux paraboles sont tangentes. On s'en convaincra en prenant les coefficients angulaires des tangentes aux deux paraboles, et y faisant $n = \frac{1}{2} \cot \varphi$ et $\cos \alpha = \cos \varphi$. Il viendra pour les valeurs des deux coefficients angulaires $\frac{p \rho E_1}{e} \cos \varphi$ (*fig.* 24).

Signalons en passant une particularité spéciale au cas de $n = \frac{1}{2} \cot \varphi$, et qui se démontre aisément, c'est que la sous-tangente au point N (c'est-à-dire la projection sur l'axe des abscisses de la partie de la tangente comprise entre le point N et cet axe) est égale à $\frac{1}{\cos \varphi}$, soit à l'inverse de l'abscisse dudit point N.

Quatrième cas : $n < \frac{1}{2} \cot \varphi$.

Le fuseau, lorsque n s'abaisse au-dessous de $\frac{1}{2} \cot \varphi$, se forme à gauche du point N; son extrémité de gauche atteint le point μ', lorsque

$$4n \sin \varphi - \cos \varphi = n \sin \varphi \frac{1 + \frac{\rho h}{2r^2}}{1 + \frac{\rho h}{4r^2}},$$

d'où
$$n = \frac{1}{2} \cot \varphi \left(1 - \frac{2 \sin \varphi}{6 \sin \varphi + \frac{ah}{r^2}} \right) \quad (\textit{fig. } 25).$$

Jusqu'à présent le point μ est resté à droite du point N;

le mouvement des points μ, μ' et I se poursuivant vers la gauche à mesure que n s'éloigne de $\frac{1}{2}\cot\varphi$, il arrive au moment où le point μ atteint le point N. Cela a lieu lorsque

$$n \sin\varphi \frac{-1+\frac{\rho h}{2r^2}}{-1+\frac{\rho h}{4r^2}} = \cos\varphi$$

d'où $$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 - \frac{2\sin\varphi}{-2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right) \quad (fig. 26).$$

n continuant à s'éloigner de $\frac{1}{2}\cot\varphi$, le point μ passe à son tour dans le fuseau qui contient déjà le point μ', et les deux paraboles ne cessent plus d'affecter l'une par rapport à l'autre les positions de la *fig.* 27 :

Ces deux derniers cas comprennent les arcs dits *surbaissés.*

La loi qui régit la forme et la position des courbes des pressions et des tensions longitudinales se résume comme il suit :

Les pressions et les tensions longitudinales sont représentées par les ordonnées de quatre ou de deux portions de deux paraboles à axe vertical, l'une concave vers le haut, l'autre concave vers le bas, se coupant à la naissance N de l'arc, l'axe de la première étant toujours situé à gauche et à une petite distance de l'axe de la seconde.

Pour des valeurs de n supérieures à

$$\frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{-6\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right),$$

les deux paraboles se coupent en un second point I entre la naissance et le sommet, et leurs sommets μ et μ' sont

situés à l'intérieur du fuseau que déterminent leurs intersections (*fig.* 20).

A mesure que n s'approche de $\frac{1}{2}\cot\varphi$, le fuseau se raccourcit; le point I s'avance vers le point N; mais il reste d'abord précédé dans ce mouvement par les sommets μ' et μ des deux paraboles qui s'avancent vers le point N en même temps que lui.

Lorsque

$$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{-6\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right),$$

le point I a rejoint le point μ; l'extrémité de droite du fuseau coïncide avec le sommet μ de l'une des paraboles (*fig.* 19).

n continuant à s'approcher de $\frac{1}{2}\cot\varphi$, le point I laisse derrière lui le sommet μ; d'un autre côté le sommet μ' s'avance vers le point N (*fig.* 21); il l'atteint lorsque

$$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right);$$

l'extrémité de gauche du fuseau coïncide alors avec le sommet de l'autre parabole (*fig.* 22).

Le mouvement des trois points μ, μ' et I vers la gauche se poursuivant, le point μ' sort à son tour du fuseau, qui se raccourcit sans cesse (*fig.* 23) et finit par se réduire à un point de tangence; dans cette position, il a à sa droite le sommet μ, à sa gauche le sommet μ'. A ce moment, on a :

$$n = \frac{1}{2}\cot\varphi \quad (fig. 24).$$

n s'éloignant de $\frac{1}{2}\cot\varphi$, le fuseau se forme de nouveau

à gauche de la naissance ; sa nouvelle extrémité de gauche I' s'avance vers le point μ'. Elle l'atteint, lorsque

$$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 - \frac{2\sin\varphi}{6\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right) (fig.\ 25).$$

Le sommet μ est encore à ce moment à droite de la naissance. Il coïncide avec elle lorsque

$$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 - \frac{2\sin\varphi}{-2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right) (fig.\ 26).$$

Le mouvement général vers la gauche se continuant, le sommet μ pénètre à son tour dans le fuseau où se trouve déjà le sommet μ'. Et les points N, I', μ,μ' conservent ensuite leurs positions relatives pour toutes les valeurs plus petites de n (*fig.* 27). Les diverses phases du mouvement et les formules qui les caractérisent présentent une sorte de symétrie assez remarquable.

Ces formules, au nombre de cinq, sont les suivantes :

(1) $$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{-6\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right);$$

(2) $$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 + \frac{2\sin\varphi}{2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right);$$

(3) $$n = \frac{1}{2}\cot\varphi;$$

(4) $$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 - \frac{2\sin\varphi}{6\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right);$$

(5) $$n = \frac{1}{2}\cot\varphi\left(1 - \frac{2\sin\varphi}{-2\sin\varphi + \frac{ah}{r^2}}\right).$$

La formule (3) correspond au moment où le fuseau se réduit à un point et où les paraboles sont tangentes.

La formule (1) marque le moment où le sommet μ sort du fuseau réel par la droite ; la formule (5) celui où il rentre dans le fuseau virtuel, encore par la droite.

La formule (2) marque le moment où le sommet μ' sort du fuseau réel par la gauche ; la formule (4) celui où il rentre, également par la gauche, dans le fuseau virtuel.

Considérées au point de vue purement algébrique, les cinq valeurs de n qui précèdent sont liées entre elles par une relation fort simple ; on a en effet :

$$\frac{1}{n_{(1)}}+\frac{1}{n_{(5)}}=\frac{1}{n_{(2)}}+\frac{1}{n_{(4)}}=2\times\frac{1}{n_{(3)}}=4\,\mathrm{tg}\,\varphi.$$

Nice, 18 août 1875.

N° 42

CHAUDIÈRES A VAPEUR

1° NOTE

SUR

LA CORROSION DES CHAUDIÈRES A VAPEUR PAR L'ACTION DE L'ACIDE SULFURIQUE QUI SE PRODUIT DANS LES DÉPÔTS LAISSÉS PAR LES FUMÉES SUR LEURS PAROIS (*).

La Commission centrale des machines à vapeur a eu son attention appelée, au commencement de l'année 1875, sur deux explosions de générateurs à vapeur survenues, l'une au puits Glenons, de la houillère de La Machine (département de la Nièvre); l'autre, aux forges d'Ougrée, en Belgique, et qui ont paru devoir être attribuées à l'altération du métal des chaudières par suite de la présence d'acide sulfurique dans les dépôts laissés par les fumées sur les parois de certaines parties des chaudières.

D'autres faits de même nature sont parvenus depuis à la connaissance de la Commission, qui a pensé qu'il convenait de faire de l'ensemble des observations qu'elle a recueillies et des travaux dont elle a eu communication, l'objet d'une note qui serait insérée dans les *Annales des mines* et *des ponts et chaussées*, de manière à les répandre autant que possible et à appeler l'attention des ingénieurs et des industriels sur la transformation, dans les fourneaux des chaudières, de l'acide sulfureux des fumées en acide sulfurique,

(*) Cette note et celle qui lui fait suite sont la reproduction, à peu près intégrale, de deux rapports présentés à la *Commission centrale des machines à vapeur* par M. Hanet-Cléry, ingénieur en chef des mines, dans la séance du 2 février 1876.

sous l'influence de certaines circonstances spéciales, et à diriger leurs études sur cette question qui, en ce qui concerne les générateurs à vapeur, est encore relativement peu avancée, à un certain nombre de points de vue.

C'est dans ce double but que la note qui suit a été rédigée. Nous ferons d'abord connaître les deux accidents dont la Commission s'est occupée, puis nous rapporterons les autres observations qui ont été faites sur le même sujet.

1° *Explosion de chaudière au puits Glenons.* — L'explosion arrivée au puits Glenons, le 13 novembre 1872, a eu lieu dans les circonstances suivantes : la chaudière éclatée se composait d'un corps cylindrique au-dessous duquel la grille était directement placée, et d'un réchauffeur en contre-bas séparé du corps cylindrique par une voûte en briques qui touchait presque la partie supérieure du réchauffeur.

Ce réchauffeur s'est ouvert en grand, à sa virole d'avant, au droit d'un recouvrement longitudinal, à la jonction de deux tôles; la déchirure s'est ensuite continuée perpendiculairement à ses deux extrémités.

L'épaisseur du métal, dans la partie qui a cédé la première (épaisseur qui à l'origine était de 12 millimètres), se trouvait réduite à 1^{mm},7, et était ainsi devenue tout à fait insuffisante pour permettre au métal de résister à la pression de 6 kilogrammes à laquelle le générateur fonctionnait. L'amincissement était tout à fait extérieur et s'étendait, mais à un moindre degré, sur toute la région supérieure de la virole du même côté.

M. l'ingénieur des mines Douvillé a attribué cette usure, qui a été relativement rapide, puisque la chaudière ne datait que de l'année 1867, à l'action corrosive exercée au contact du métal par l'oxygène et l'acide sulfureux contenus dans les gaz de la combustion, en présence d'eau provenant des fuites qui existaient au corps cylindrique supérieur. Cette

eau, après avoir traversé la voûte en briques, tombait sur le réchauffeur, mouillant sa partie supérieure qui était relativement froide (*), et se concentrant principalement le long de la saillie longitudinale de jonction avec la tôle inférieure qui l'arrêtait dans sa marche descendante. Elle a ainsi pu imbiber les enduits déposés dans cette région que la configuration de la maçonnerie empêchait de nettoyer régulièrement et favoriser ainsi, à la surface du métal, la suroxydation de l'acide sulfureux. M. Douvillé a recueilli, sur les parties corrodées, de larges écailles d'oxyde de fer, et il y a constaté la présence de soufre sans avoir pu déterminer son état de combinaison.

II° A ce point de vue, l'accident arrivé aux forges d'Ougrée, le 30 octobre 1873, est plus concluant. L'acide sulfurique a été en effet trouvé dans les enduits, soit à l'état libre, soit à l'état de sulfate de fer. Nous allons faire connaître les circonstances de cette explosion, d'après les indications qu'a bien voulu fournir le directeur de l'établissement.

La chaudière était horizontale et composée d'un corps cylindrique avec deux bouilleurs en contre-bas; elle avait été construite en 1863, et était chauffée par les flammes perdues de trois fours à puddler. Ces flammes, à la sortie du rampant, enveloppaient à la fois un des bouilleurs et la moitié de la partie inférieure du corps cylindrique. Elles chauffaient, dans un deuxième circuit, la partie symétrique de l'appareil.

Le bouilleur, au droit duquel les flammes débouchaient, s'est entr'ouvert dans des conditions qui ont la plus grande ressemblance avec la manière dont s'est déchiré le réchauf-

(*) Cette partie était située à l'extrémité du circuit des fumées et dans le voisinage extrême de l'arrivée de l'eau d'alimentation. M. Douvillé fait même remarquer que les vapeurs d'eau contenues dans les fumées étaient susceptibles de s'y condenser. Ces eaux condensées ont pu ajouter leur action à celle des eaux d'infiltration, pour favoriser la suroxydation de l'acide sulfureux.

feur du puits Glenons. La fracture a commencé suivant une génératrice horizontale, contre un recouvrement, et s'est continuée perpendiculairement suivant deux fentes, l'une en pleine tôle, l'autre le long d'une rivure. L'épaisseur du métal était réduite à près d'un millimètre sur les lèvres de la première déchirure. Toute la partie supérieure de la virole du même côté était d'ailleurs corrodée, l'amincissement diminuant progressivement jusque vers le haut du bouilleur. L'usure était tout à fait extérieure.

Deux échantillons de l'enduit laissé par la fumée sur la région altérée ont été analysés; ils ont donné : sulfate de fer, entre 52 et 53 p. 100; acide sulfurique non combiné, l'un 1,42, l'autre près de 12 p. 100.

Les dépôts recueillis sur le reste du bouilleur contenaient également de l'acide sulfurique, mais en quantité notablement moindre et sans qu'il en fût résulté d'usure sensible du métal.

La différence de l'action a été expliquée de la manière suivante : l'enduit se dépose, pendant la marche des fours, à l'état pulvérulent et tout à fait sec : mais à la mise hors feu, l'air extérieur, chargé d'humidité, pénètre dans les carneaux, et à son contact prolongé la suie devient pâteuse. La suroxydation de l'acide sulfureux se produit alors, et le métal se trouve dans les conditions les plus favorables pour être attaqué. L'action corrosive s'exerce donc, pendant toute la période d'inactivité de la chaudière, dans les régions qui n'auront pas été nettoyées; au contraire, elle ne se fera pas sentir là où les dépôts auront été enlevés.

Or la partie amincie et déchirée se trouvait précisément dans le premier cas; elle était adossée contre la muraille verticale qui séparait les deux carneaux, dans une partie très-difficilement accessible qu'on négligeait, par suite, de visiter et de nettoyer.

III° Des exemples de corrosion extérieure, par suite de

la condensation de la vapeur d'eau des fumées sur les parties froides des chaudières ont été signalés par M. Meunier-Dollfus, directeur de l'Association alsacienne des appareils à vapeur. (Voir *le Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, année 1871.) Nous citerons particulièrement les observations qui ont été faites sur les générateurs de l'usine de M. Charles Kestner, à Thann.

L'usine comprenait deux chaudières cylindriques à trois bouilleurs chacune, et entre elles, dans le même massif, six réchauffeurs disposés deux par deux sur un même étage. La fumée circulait sous les trois bouilleurs, deux fois autour du corps cylindrique, puis dans les trois étages du réchauffeur, de haut en bas. L'eau d'alimentation suivait une marche inverse.

Un seul générateur était le plus souvent en fonctionnement; il marchait jour et nuit, mais avec une activité moindre pendant la nuit.

Dans une expérience où l'eau d'alimentation arrivait avec une température de 20°, l'eau, à la sortie du premier réchauffeur inférieur, ne dépassait pas 30°, et à la sortie du troisième, 50°. D'un autre côté, la température des fumées, à la sortie du dernier réchauffeur, ne dépassait pas 150° le jour et 100° la nuit. Au bout de deux ans de service, dans ces conditions, les deux réchauffeurs étaient déjà altérés, et au bout de six ans, bien que le métal fût d'excellente qualité, leur épaisseur était tellement réduite qu'ils ont été réformés.

L'attaque avait eu lieu principalement sur les parties de ces réchauffeurs froides ou peu chaudes, et il a été constaté qu'elle avait pour cause première l'acide sulfureux dissous dans l'eau de condensation déposée par les fumées; en présence de l'air et de ces eaux acides, il y avait oxydation de la tôle, puis formation de sulfate d'oxyde de fer.

IV° Quelques observations sur cette cause de déperis-

sement des chaudières ont été faites dans le département du Nord, par M. Cornut, ingénieur en chef de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du nord de la France, à Lille. Il a constaté, assez fréquemment, des corrosions extérieures qui lui ont paru attribuables à l'action des fumées, et qu'il a trouvées nettement limitées à des portions de tôle humectées par une cause quelconque, fuites, eaux d'infiltration, etc.

V° Nous terminerons par la remarque suivante : la transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique, sous l'action de l'eau ou de la vapeur d'eau et de l'air, en présence d'une base ou d'un métal, n'est pas un fait nouveau. Il y a longtemps déjà que, dans la pratique industrielle, on se sert de cette propriété de l'acide sulfureux, soit pour assainir le voisinage de certains établissements métallurgiques, soit pour traiter certains minerais. A ce dernier point de vue, on peut citer notamment le procédé de M. de Lamine, pour la fabrication du sulfate d'alumine à Ampuis (Belgique) (*), et le traitement de certains minerais oxydés de cuivre, sur les bords du Rhin.

Il semble que ces applications, d'une date déjà ancienne, eussent dû depuis longtemps éveiller l'attention sur la possibilité de l'altération des parois des chaudières par des réactions du même genre; mais il n'en a rien été, et l'on peut considérer qu'en ce qui concerne cette question spéciale, si le fait général est maintenant connu, il reste à l'étudier dans tous ses détails, dont quelques-uns ne manquent pas d'importance pratique.

Conclusions. — On peut résumer ainsi l'ensemble des observations qui précèdent :

Dans les enduits déposés sur les parois des chaudières à

(*) Voir à ce sujet le mémoire de M. de Freycinet, sur l'*Assainissement industriel en Belgique* (*Annales des mines*, t. VII).

une certaine distance du foyer, et qui sont rendus humides par une cause accidentelle quelconque, l'acide sulfureux entraîné par les gaz de la combustion détermine l'attaque des tôles par formation de sulfate d'oxyde de fer.

L'attaque peut avoir lieu pendant que la chaudière est en feu, dans les régions mouillées par des fuites provenant de la chaudière même, ou par des eaux d'infiltration que les maçonneries laissent arriver, ou par la condensation des vapeurs d'eau des fumées au contact de tôles relativement froides. Elle peut également se produire pendant la période d'inactivité de la chaudière, en raison de l'humidité de l'air qui pénètre dans les carneaux.

Ces origines diverses de l'action corrosive montrent la nature des précautions à prendre pour en éviter les effets destructeurs, sauf en ce qui concerne les condensations des vapeurs, au sujet desquelles on a conseillé des dispositions qui n'ont pas encore reçu la sanction de l'expérience. Ces précautions ne sont autres que celles qui doivent être prises dans la pratique ordinaire pour la conservation des appareils, c'est-à-dire une construction soignée, des nettoyages complets et un bon entretien.

2° ANALYSE

DES COMPTES RENDUS DES OPÉRATIONS DE L'ASSOCIATION BELGE POUR LA SURVEILLANCE DES APPAREILS A VAPEUR, POUR LES ANNÉES 1873 ET 1874.

Les comptes rendus des opérations de l'Association belge pour la surveillance des appareils à vapeur contenant une étude très-complète des différentes causes de détérioration des chaudières, il a paru intéressant d'en faire un extrait détaillé, en laissant d'ailleurs à l'ingénieur en chef de l'Association, M. Vincotte, la responsabilité de ses observations et des opinions qu'il exprime.

La société s'est constituée le 30 décembre 1872. Ses opérations s'étendent sur toute la Belgique. A la fin de 1874, c'est-à-dire de sa deuxième année d'existence, le nombre des appareils associés s'élevait à 1.031 : il était de 827 au bout de la première année.

En 1873, 485 chaudières avaient été visitées intérieurement; 278 avaient dû être l'objet de réparations, dont 64 immédiatement, en raison du danger qu'elles présentaient.

En 1874, le nombre des chaudières visitées intérieurement a été de 607. Un grand nombre de ces visites ont révélé des défauts graves, pour lesquels 62 chaudières sont entrées en réparation immédiate (*).

Les défauts constatés ont été, suivant leur nature, divisés en plusieurs catégories. Ces catégories et le nombre des chaudières par catégorie sont les suivants :

NATURE DES DÉFAUTS.	NOMBRE des chaudières défectueuses.	
	1873	1874
Corrosions intérieures	66	148
Corrosions extérieures	Non indiqué.	111
Fentes	Non indiqué.	76
Causes diverses. (Trop grande vivacité du feu, inscrustations, etc.)	Non indiqué.	Nombre non suffisamment indiqué.

Les comptes rendus entrent dans des observations de détail intéressantes sur chacune de ces natures de défectuosités, en même temps que sur leurs origines ou leurs causes; nous relatons les plus importantes d'entre elles :

(*) Ces chiffres, si le tableau n'est pas trop chargé, méritent l'attention. Un régime sous lequel 126 chaudières sur 1.031 (soit une proportion de 12 p. 100) sont trouvées dans un état dangereux, peut-être voisin de l'explosion, est certainement peu rassurant. Bien qu'il y ait lieu de penser que la situation soit meilleure en France, on ne peut s'empêcher de remarquer que nous vivons sous une réglementation analogue, à beaucoup de points de vue, à celle qui, en Belgique, a laissé se produire de pareils résultats.

I. — Corrosions intérieures.

Ces corrosions tantôt attaquent de grandes surfaces, tantôt se montrent par cavités isolées en nombre plus ou moins grand.

Les premières ont paru le plus souvent occasionnées par l'emploi d'eaux corrosives ou de désincrustants. Elles sont quelquefois dues à des dispositions vicieuses des appareils, comme par exemple celles qui permettent, dans les réchauffeurs, la formation de chambres de vapeur.

Quant aux secondes, qu'il indique comme très-fréquentes, le compte rendu de 1874 s'exprime ainsi :

« On trouve fréquemment de petites cavités isolées au « milieu d'une tôle intacte. Ces cavités sont à peu près cir- « culaires, d'un diamètre et d'une profondeur qui augmen- « tent avec leur âge. Elles sont remplies d'une poussière « noire, composée en grande partie d'oxyde de fer prove- « nant du métal rongé, de sulfates et de carbonates dé- « posés par l'eau en se vaporisant, et d'une très-petite « quantité de silice. Quelquefois elles sont recouvertes d'un « dôme de couleur jaunâtre.

« Dans certaines chaudières, trois ou quatre ans suffisent « pour perforer une tôle; il est rare qu'il en faille plus de « douze.

« Quelquefois une chaudière attaquée de cette façon « présente des cavités de toute grandeur, depuis celles « qui ne font que commencer jusqu'aux plus grandes.

« Quelquefois aussi ces cavités sont toutes d'une ou de « deux grandeurs, comme si elles dataient d'une ou de « deux époques bien déterminées.

« Jusqu'à présent, ce genre de corrosions, pour ainsi « dire vermiculaires, n'a été observé qu'exceptionnelle- « ment sur des tôles autres que celles où il n'y a pas « d'ébullition, où l'eau n'est pas agitée. On le trouve fré- « quemment dans les chaudières à réchauffeur. Dans ce

« cas, le corps cylindrique principal est complétement « épargné, et souvent c'est le réchauffeur le plus froid « qui est le plus attaqué.

« Des parties de bouilleur ou de réchauffeur non chauf- « fées présentaient de fortes corrosions de cette nature « (par exemple des portions engagées dans des maçonne- « ries ou en saillie à l'extérieur du fourneau).

« Lorsque ces cavités, au lieu d'être largement espacées, « sont assez voisines, elles peuvent par leur réunion for- « mer une ligne de cassure.

« Les ingénieurs de l'association ont fait plusieurs ana- « lyses des eaux d'alimentation et des incrustations pro- « duites, en même temps que des résidus qui remplissent « les cavités. Sans aboutir à une conclusion absolument « nette, leurs recherches les ont amenés aux présomptions « suivantes :

« La corrosion, dans ces circonstances, ne semble pas « provenir d'une acidité reelle des eaux, bien que due, « suivant toute apparence, à l'action des chlorures ou « des sels alcalins contenus dans ces eaux en très-petite « quantité. Dans cinq analyses, les résidus de la corrosion « ont été trouvés contenant du chlorure de fer, ce qui « porte à croire que, dans ces cas au moins, les chlorures « sont intervenus. Il n'est pas impossible que, dans d'au- « tres circonstances, le chlorure de fer ait été formé, mais « il aurait disparu en se dissolvant dans l'eau qui remplit « les générateurs (*). »

II. — Corrosions extérieures.

Les corrosions extérieures sont, d'après le rapport, une

(*) L'action oxydante des chlorures de magnésium et de calcium contenus dans les eaux d'alimentation est un fait déjà connu : ces chlorures se décomposent sous l'action de la chaleur dans les chaudières et attaquent soit les parties baignées par l'eau, soit les tôles en contact avec la vapeur.

des plus grandes causes d'usure des chaudières. Nous laisserons de côté celles qui proviennent de faits connus, tels que le contact des tôles avec des maçonneries humides, les fuites à travers les rivures, les joints ou les fentes, et nous indiquerons spécialement les observations qui se rapportent à l'action, sur les tôles, des produits de la combustion, action qui a été étudiée avec beaucoup de soin (*).

« Après quelque temps de marche, dit le compte rendu « de 1874, toute la surface chauffée d'une chaudière est « couverte d'une couche de poussière et de suie contenant « des matières corrosives. Cette couche a un aspect diffé-« rent suivant l'éloignement, par rapport au foyer, des « parties de la chaudière que l'on considère. Elle varie « suivant la nature du charbon et diverses autres circon-« stances encore incomplétement connues. Sa composition « change également beaucoup dès que, les feux étant « éteints, elle se trouve en contact avec l'air atmosphé-« rique plus ou moins chargé d'humidité. Si on laisse de « côté les premières tôles et qu'on examine, quelques jours « après la mise hors feu, celles qui sont à une certaine « distance du foyer, on trouve que l'enduit qui recouvre « ces derniers présente trois couches distinctes. Contre le « métal même, une matière grisâtre assez adhérente, d'une « faible épaisseur, extrêmement acide et astringente; au-« dessus, une couche noire très-acide et très-astringente; « enfin, extérieurement, une couche blanche ou rosée, « formée d'une matière extrêmement ténue, douce au « toucher et dont la saveur, très-faible immédiatement « après l'extinction des feux, devient bientôt astringente « et acide. Cette dernière couche n'existe plus dans les « carneaux où la température est peu élevée.

« Vingt-cinq analyses ont été faites sur des échantillons

(*) Voir la *note* précédente.

« pris dans les différentes couches que nous venons d'in- « diquer, à des intervalles de temps plus ou moins éloi- « gnés du moment de l'arrêt des chaudières; quelques- « uns avaient été recueillis près de fuites.

« Ces analyses ont toujours accusé l'existence d'acide « sulfurique libre, ou de sulfates ferriques ou ferreux, ou « d'oxyde de fer, résultant de la décomposition du sulfate « de fer à une haute température.

« Si dans un mélange d'eau et des parties inférieures « de ces enduits, pris encore frais, on plonge une lame « de fer, elle est vivement attaquée avec dégagement d'hy- « drogène, et il se forme du sulfate de fer. Il est donc « naturel que ce même sel se produise au contact du mé- « tal dès que la chaudière devient humide. Ce sulfate et « l'acide sulfurique non combiné imprègnent par imbibi- « tion toute la hauteur de l'enduit. Mais, dans les carneaux « fortement chauffés, et là où les suies atteignent une « épaisseur suffisante pour arriver à la température de la « calcination, les parties extérieures brûlent sous l'action « des gaz oxydants. Les sels de fer se décomposent et il « se forme ces cendres de coloration blanche qui cou- « vrent les dépôts dans ce cas.

« Telle est, d'après l'ingénieur en chef de l'association, « l'explication de l'aspect spécial et de la composition « variée que présente l'enduit au delà des tôles de feu « proprement dites.

« Quant à la corrosion elle-même, tant que le généra- « teur est en feu, elle ne se produit que sur les parties « de tôle qui sont contiguës aux fuites ou à des maçon- « neries humides, ou qui sont assez froides pour que la « vapeur d'eau des fumées s'y condense; le reste n'est « pas attaqué. Mais pendant les temps d'arrêt, l'acide « formé et les sulfates de fer et d'alumine attirent l'humi- « dité, et lorsqu'ils sont arrivés à un certain degré de « dilution, la tôle commence à se ronger et continue jus-

« qu'à ce que les sulfates aient disparu et qu'il ne reste « que de l'oxyde.

« Le temps qu'il faut pour arriver à ce point dépend « essentiellement de l'humidité qui règne dans le massif « de la chaudière. Ordinairement il faut un repos de plus « de huit jours pour que la corrosion devienne quelque « peu forte.

« L'influence de la nature des charbons sur le degré de « corrosion n'a pas encore été constatée. »

III. — Fentes.

En ce qui concerne les fentes, nous ne nous arrêterons pas à celles qui se produisent sur le bord des tôles, ni au raccordement des parties cylindriques avec le fond : nous nous bornerons à mentionner celles qui ont été observées suivant des rivures transversales dans les parties inférieures des chaudières, et dont quelques-unes avaient un développement de $0^m,40$, $0^m,50$ et même $1^m,30$. Quand on considère que, sur cette longueur, les tôles ne sont plus maintenues que par le frottement dû à la pression des rivets, pression qui, elle-même, est atténuée en raison du glissement qui s'est produit sur une au moins des tôles, on est amené à se demander comment des explosions ne sont pas le résultat immédiat de fissures de cette importance. Le compte rendu essaye de l'expliquer en faisant remarquer que, tant qu'elles sont fortement chauffées, les tôles inférieures sont comprimées en raison de la résistance que les autres tôles plus froides opposent à leur dilatation. C'est ce que semble montrer ce fait, que presque toutes les fuites du bas des chaudières diminuent ou cessent à chaud pour se reproduire à froid.

Le danger, cependant, reparaît avec le refroidissement, et il est à croire que c'est à cette raison que sont dues un grand nombre des explosions qui ont lieu dans les moments où les feux sont tombés.

IV. — Causes diverses : intensité trop grande du feu; incrustations, etc.

Dans un grand nombre de chaudières à bouilleurs qui ont été trouvées sujettes à des coups de feu, ceux-ci se reproduisent le plus ordinairement dans les mêmes places, qui sont en relation constante avec la position du cuissard antérieur de communication. Cet effet est indiqué comme le résultat de l'accumulation des débris sédimentaires, entraînés par les courants qui se forment régulièrement à travers les tubulures de communication, et rejetés par le remous dans les parties où l'eau est relativement tranquille.

Un dernier point que les rapports touchent est relatif aux incrustations; mais ils n'examinent qu'un seul cas: celui des dépôts savonneux calcaires, dus à l'emploi partiel, pour l'alimentation, des eaux de condensation des machines (*). Ils signalent les inconvénients de ces dépôts et les tentatives infructueuses qui ont été faites en Belgique pour y remédier, à l'aide d'appareils tubulaires où les vapeurs graisseuses ne sont plus en contact avec l'eau. Enfin ils indiquent comme efficace l'emploi d'huiles minérales pour la lubrification des cylindres. Ce procédé n'est d'ailleurs autre que celui qui est recommandé par l'Amirauté anglaise sur les bateaux de la marine royale britannique.

Après avoir ainsi passé en revue les différents défauts que deux années d'exercice ont permis de reconnaître dans les chaudières soumises à la surveillance de l'Associa-

(*) La Commission centrale s'est occupée en 1874 d'accidents attribués à cette nature d'inscrustation. Ces savons, en se déposant sur les parois intérieures des chaudières, s'opposent, même quand ils sont en pellicules très-minces, au contact de l'eau avec le métal, qui alors, surtout au coup de feu, se surchauffe, se détériore rapidement et finit par se déchirer.

tion, le rapport de 1874 se termine par une observation d'un caractère général et qui en est comme la conclusion :

« C'est la nécessité de visites périodiques, tant à l'inté-
« rieur qu'à l'extérieur, faites par des hommes de l'art,
« en raison du peu de valeur de l'essai à la presse hy-
« draulique, comme garantie unique de la capacité de
« résistance des chaudières. »

CHRONIQUE.

Septembre 1876.

N° 43

Exploration de l'isthme de Gabès et des chotts tunisiens. — M. Roudaire, capitaine d'état-major, a été chargé par le ministre de l'instruction publique d'une mission d'exploration dans l'isthme de Gabès et les chotts tunisiens, afin de savoir s'il est possible d'introduire les eaux de la Méditerranée dans le bassin des chotts. Les opérations sur le terrain, exécutées avec l'assistance de M. Baronnet, ancien élève de l'École centrale, sont terminées, et un premier rapport vient d'être publié dans le journal officiel; nous en extrayons les renseignements suivants :

Les opérations de nivellement ont duré du 1er mars au 4 mai; la longueur totale des lignes nivelées (ligne principale et profils secondaires) peut être évaluée approximativement à 500 kilomètres; le nombre des stations a été de 1.200. Nous ne pouvons que résumer comme suit les indications fournies par M. le capitaine Roudaire.

La dépression la plus basse de l'isthme de Gabès est occupée par l'oued Melah; sous ce nom, les Arabes désignent deux cours d'eau distincts prenant naissance, l'un à l'est, l'autre à l'ouest du point culminant de cette dépression et coulant en sens inverse, l'un vers la mer, l'autre vers le chott *El-Fejej*.

Les observations consignées dans le rapport, d'accord en cela avec une tradition répandue dans la contrée, tendent à prouver que la mer a occupé le bassin des chotts à une époque antérieure à la naissance de Mahomet : ce bassin serait ainsi l'ancienne baie de Triton, séparée de la Méditerranée à la suite d'un soulèvement que M. Roudaire pense pouvoir rattacher au soulèvement des couches marines de Cagliari.

Entre autres points intéressants, l'auteur du rapport signale l'état du chott *El-Djerid* où les eaux en s'accumulant ont formé un vaste lac souterrain : c'est un mélange très-liquide d'eau et de sable recouvert d'une couche plus résistante dont l'épaisseur variable dépasse rarement $0^m,80$. En enlevant cette croûte résistante et en laissant tomber dans le mélange liquide de sable et d'eau une pierre suspendue à une corde, il est impossible de trouver le fond. L'ouverture se remplit en quelques instants d'une eau aussi salée que celle de la mer, mais très-limpide. M. Roudaire a constaté, d'autre part, que la croûte supérieure subit, par les grands vents, de fortes oscillations.

Le seuil de Gabès, à son point culminant, est à une hauteur de 46 mètres seulement au-dessus du niveau de la mer; il est formé de sables et ne serait pas un obstacle sérieux au remplissage du bassin des chotts. La partie inondée pourrait atteindre une superficie de 5000 kilomètres carrés; il n'y aurait pas un seul palmier détruit en Tunisie du fait de l'arrivée des eaux : les magnifiques oasis du Djerid et du Nifzaoua sont, dans leurs parties les plus basses, à 20 mètres au moins au-dessus du niveau de la mer.

Les chiffres précis ne pourront être donnés que lorsque les nombreux calculs relatifs à cette expédition seront terminés; mais, dès à présent, M. Roudaire pense que l'on peut conclure à la possibilité d'introduire dans le bassin des chotts les eaux de la Méditerranée, et il croit que les difficultés matérielles à vaincre ne peuvent pas être un obstacle à la réalisation du projet devant l'importance du but à atteindre.

Colmatage dans la vallée du Rhin (Suisse). — D'importants travaux de correction du Rhin entrepris en Suisse depuis 1862 ont amené déjà diverses améliorations locales; nous extrayons d'une note publiée dans le *Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes* par M. Fraisse, inspecteur général de la correction du Rhin et des eaux du Jura, quelques renseignements sur le colmatage, complément des travaux d'endiguement qui ont pour effet de mettre à l'abri du fleuve environ 1000 arpents (250 hectares) compris entre Ragatz et Sargans.

En hiver, le Rhin n'a qu'un faible débit; mais dès le mois de mai il grossit et conserve un niveau assez élevé jusqu'en septembre; son débit est alors de 500 à 1000 mètres cubes par seconde, et l'eau est toujours trouble, chargée des terres, des sables et des limons qu'elle reçoit des nombreux torrents de montagne qui viennent augmenter son volume. De diverses observations faites

journellement en juillet et août, il résulte que le volume de limon varie de 0,001 à 0,042 et qu'il est en moyenne de 0,016; chaque mètre cube peut donc laisser déposer 16 litres de limon (évalué à l'état humide). On a calculé que pendant ces deux mois une superficie de près de 90 hectares entre Ragatz et Sargans a reçu près de 80.000 mètres cubes d'un excellent limon, soit une épaisseur moyenne de 0m,08.

Les digues se composent d'un corps principal en gravier pris dans le lit du fleuve; ce massif principal trapézoïdal est une simple levée large de 4m,50 en couronne, haute de 5 à 6 mètres au-dessus des basses eaux. Le talus du côté du Rhin est revêtu de pierres d'un fort volume disposées en perrés à 3 de base sur 2 de hauteur. Leur pied est garanti contre l'action du courant par un massif en pierres de 3 mètres de largeur sur 2 mètres de hauteur au niveau des basses eaux. Le tout est assis sur un lit de fascinage qui maintient une certaine solidarité dans l'ensemble. Le talus du côté des terres à 3 de base sur 1 de hauteur est disposé suivant la nature du sol, soit en fascinage et clayonnage, soit en pierres de moindres dimensions; quelquefois le pied seul est protégé.

Dans cette digue sont pratiquées les écluses qui servent à l'introduction des eaux et qui ont été construites avec de grandes précautions pour ne pas devenir un point faible, facilement affouillable en cas de forte crue. Leur radier est placé à une hauteur qui permet de laisser passer l'eau lorsque le Rhin atteint son niveau d'été. Les vannes qui règlent l'entrée sont en bois glissant entre deux rainures verticales; elles présentent une disposition spéciale permettant de recevoir l'eau dans la proportion qu'on voudra, selon la hauteur du fleuve, sans que le courant produit dans l'écluse soit trop considérable; de plus, un flotteur mobile constitué par une poutre fixée à l'extrémité d'amont à un boulon en fer qui se meut dans une rainure et dont l'autre extrémité est libre s'oppose à l'introduction dans l'écluse des objets charriés par le Rhin en temps de crue. A la sortie de l'eau du côté des terres, le radier est raccordé avec le talus et le pied de la digue et une seconde vanne peut fermer le passage.

Après le colmatage effectué, l'eau rentre dans le Rhin en aval par une écluse de sortie plus simple que l'écluse d'entrée, mais réglée à la hauteur nécessaire pour ne laisser sortir que l'eau dépouillée de limon; cette écluse est munie de vannes à ses deux extrémités.

Deux systèmes d'écluses de ce genre sont en cours d'exécution dans le canton de Saint-Gall, à Trübbach, après l'embouchure de la Saar, et à Büchs.

Des digues de second rang, placées à 100 ou 120 mètres en arrière des premières, sont destinées à protéger la plaine contre les irruptions accidentelles qui pourraient encore se produire. Ces levées, dites *arrière-bords*, sont construites en terre; elles ont au moins une largeur de 5 mètres en couronne; leur hauteur est supérieure au niveau des plus hautes crues connues; leurs talus sont gazonnés.

Sur quelques propriétés physiques des eaux, considérées au point de vue de l'alimentation des villes. — M. Gérardin a présenté à l'Académie des sciences une note sur les eaux communes que, d'après lui, on peut rapporter à deux types représentés à Paris par la Vanne et par la Seine.

Le premier type serait caractérisé par sa couleur bleue, brillant d'un éclat particulier et laissant passer la lumière sans la réfléchir; évaporée dans le vide à une basse température, elle laisse un résidu dans lequel un microscope ne révèle que quelques rares diatomées; elle peut se conserver longtemps sans altération; les matières ténues qui s'y trouvent y restent longtemps en suspension; les matières albuminoïdes y donnent des mousses et des écumes abondantes.

Le second type est caractérisé par sa couleur verte; l'eau verte est terne et sans éclat; elle est peu transparente à la lumière qui se réfléchit à sa surface comme sur une sorte de miroir. L'évaporation dans le vide laisse un résidu abondant d'algues unicellulaires microscopiques; elle s'altère et se corrompt facilement; elle dépose rapidement les corps qu'elle tient en suspension; elle ne donne ni mousses ni écumes avec les matières albuminoïdes.

L'eau bleue est précieuse pour l'alimentation; l'eau verte qui laisse déposer les matières en suspension est surtout convenable pour les usages industriels.

Il ne paraît pas exister de moyen de ramener l'eau verte à l'état d'eau bleue; la transformation inverse se fait facilement, au contraire, principalement par l'influence des matières organiques en décomposition; l'eau de la Seine, bleue à Corbeil, est verte à Paris et reste verte jusqu'à Caudebec où la mer commence à agir.

Niveau à manomètre. — M. Galland, ingénieur des ponts et chaussées, détaché au service du gouvernement turc, a imaginé un niveau d'une nouvelle espèce dont il a fait usage en Orient dans des études auxquelles il s'est livré pour l'établissement de plusieurs lignes de chemins de fer. Cet appareil a été présenté

par M. Bréguet au Congrès tenu à Nantes, en 1876, par l'Association française pour l'avancement des sciences. Nous extrayons des épreuves du compte rendu de cette session les renseignements suivants sur cet appareil qui, d'après ce qu'on assure, pourrait rendre des services spéciaux dans certaines circonstances déterminées.

Le manomètre à niveau se compose :

1° D'un réservoir étanche pouvant contenir environ un demi-litre d'eau et disposé de telle sorte que l'air puisse avoir un accès facile au-dessus du liquide ; la forme la plus convenable à lui donner est celle d'un cylindre aplati, un peu évasé à la partie supérieure pour que les variations de volume du liquide ne changent pas sensiblement le niveau ;

2° D'un tube flexible et presque inextensible en caoutchouc garni de toile dont le diamètre intérieur dépend de la longueur ; le diamètre peut n'être que de 2 à 3 millimètres si la longueur du tube ne dépasse pas 30 mètres ; il doit être de 5 millimètres si la longueur varie de 50 à 100 mètres ;

3° D'un manomètre sensiblement identique pour la disposition des organes qui le constituent à un baromètre anéroïde ; la boîte intérieure est remplie d'eau privée d'air par une ébullition préalable ; l'aiguille du manomètre se meut dans un sens ou dans l'autre suivant que la pression du liquide est inférieure ou supérieure à la pression atmosphérique.

Lorsque le réservoir et le manomètre sont au même niveau, l'aiguille est au zéro de la graduation ; si le réservoir est plus élevé que le manomètre, la pression intérieure dans celui-ci est plus grande que la pression atmosphérique, l'aiguille se déplace et les dimensions sont telles qu'elle peut faire un demi-tour du cadran pour des différences de niveau de 4 à 5 mètres ; l'approximation est de 0m,01 dans ces conditions. Si, au contraire, le réservoir est au-dessous du manomètre, la pression du liquide dans celui-ci est inférieure à la pression atmosphérique et l'aiguille se déplace, mais en sens contraire du mouvement précédent (pour éviter les erreurs, les divisions sont tracées en noir d'un côté et en rouge de l'autre). La différence de pression indique la différence de niveau ; on conçoit aisément la manière de se servir de cet appareil, qui n'exige qu'un observateur expérimenté et un aide qui n'a qu'à porter le réservoir et à guider le tube de communication.

Quels que soient la configuration du terrain, les obstacles qui séparent deux points, cet appareil permet de déterminer la diffé-

rence de niveau de deux points dont la distance n'est pas supérieure à la longueur du tube.

Il est facile de comprendre que cet appareil permette de tracer sur un terrain des courbes de niveau.

M. Galland a pu, pour l'étude des chemins de fer de Sophia à Misch (Turquie), lever des profils à la vitesse d'un kilomètre et demi à l'heure; quant à l'exactitude des résultats, l'inventeur fait connaître qu'il a fermé un polygone de 4 kilomètres à 2 ou 3 centimètres près.

C. M. G.

N° 44

DISCOURS

PRONONCÉS LE 5 SEPTEMBRE 1876

SUR LA TOMBE

DE

M. DE FRANQUEVILLE,

Directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer.

1° DISCOURS

De M. Albert CHRISTOPHLE, ministre des Travaux publics.

Messieurs,

A côté des hommes que la politique élève, il en est d'autres qui, dignes du premier rang, se contentent modestement du second. Leur vie se passe à bien faire, à remplir laborieusement et sans bruit une tâche quotidienne. Avides, avant toutes choses, des satisfactions intimes que donne la conscience du devoir accompli, ils préparent, sans en être jaloux, le succès d'autrui. Car le trait caractéristique de ces existences dévouées au bien public, ce qui fait leur force au milieu des oscillations de la politique, ce qui les place au-dessus et en dehors des brusques mouvements des partis, c'est leur dévouement profond aux devoirs de leurs fonctions.

Ils représentent et résument en eux ce qui doit être permanent dans la hiérarchie administrative, l'ordre, la méthode, l'expérience, la tradition.

Les gouvernements changent; ils restent, eux, protégés

par leurs services passés, poursuivant leur labeur sans trêve, et conquérant par de nouveaux efforts l'estime et la reconnaissance des pouvoirs nouveaux.

M. de Franqueville a été l'un de ces hommes. Sa renommée n'a que par instants dépassé le milieu spécial dans lequel s'exerçaient ses hautes fonctions. Mais cette renommée, patiemment conquise, est de celles que le temps confirme et que la postérité ratifie. On vit rarement unies plus de qualités solides, plus de bon sens avec une plus haute intelligence, plus de finesse avec plus de bonne grâce. C'était un homme charmant en sa simplicité; rien en lui du pédant, et, quoiqu'il sût toutes choses de ce qu'il devait savoir, aucune envie de le montrer à ceux que cela n'intéressait pas, ou de devancer le moment nécessaire pour ceux que cela intéressait. Certes son mérite spécial était chose rare en soi; mais combien plus rare encore et plus précieux, à mon estime, ce charme discret de sa personne, cette attention persévérante de se mettre à la portée de son interlocuteur, cette bienveillance constante qui, pendant quarante années de labeurs continus, n'a jamais trouvé, en haut et en bas, à côté comme au-dessous de lui, l'occasion de se lasser!

C'est là ce qui fait qu'à l'heure actuelle nous le pleurons tous au ministère; moi, dont il a été pendant trop peu de temps le collaborateur honoré et respecté, et tous ceux que vous voyez ici, ses amis, ses camarades, ses subordonnés. C'est par là aussi que je devais commencer l'hommage que j'ai voulu payer à sa mémoire, car s'il faut priser haut ces rares valeurs intellectuelles, c'est surtout quand elles se trouvent unies à un cœur droit, à une bonté sincère, à une sollicitude constante pour ceux qui les entourent et qui aiment à trouver dans le chef l'ami qui vous console et qui vous guide. Tel a été M. de Franqueville. Sa bonté, son affabilité, la constance de ses amitiés, la sûreté de ses relations avaient élargi le cercle de sa famille. Regardez autour de vous, mes-

sieurs ; ces larmes ne sont pas feintes, ces tristesses sont trop vraies. Nul de nous ne perdra le souvenir de cet homme aimable et excellent.

M. de Franqueville est né à Cherbourg, en 1809. Son père voulut en faire un ingénieur. A dix-sept ans, le jeune de Franqueville entrait second à l'École polytechnique. A dix-neuf ans il en sortait le premier de sa promotion et choisissait les ponts et chaussées. Il resta peu de temps dans le service actif. Dès 1838 il entrait au ministère des travaux publics en qualité de chef de la division de la navigation. L'administration, pour laquelle il s'était senti une vocation précoce, le retint désormais. Il ne la quitta plus et parvint en quelques années au poste élevé qu'il occupait ces jours derniers encore, celui de directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer (1855).

Tout ce qui s'est fait, en France, dans cet ordre complexe d'attributions a passé, depuis lors, par ses mains. Routes, canaux, ports, chemins de fer, c'est-à-dire le prodigieux ensemble des travaux accomplis depuis un quart de siècle, tout cela a été examiné, instruit, dirigé par lui. Ce qu'il a étudié de projets, résolu de questions, aplani de difficultés, paraîtrait invraisemblable à qui n'a pas connu la rapidité de son coup d'œil, la sûreté de son jugement, son infatigable ardeur au travail.

Son œuvre principale, celle à laquelle son nom restera attaché, c'est la création et le développement de notre système de voies ferrées. Lorsqu'en 1855 M. de Franqueville devint directeur général des chemins de fer, on avait déjà compris ce que vaut la concurrence sans frein et sans limites, dans la construction et l'exploitation des voies ferrées. Des ruines récentes où s'était engloutie, appelée par une spéculation éhontée, une partie importante de l'épargne française, avaient inspiré d'utiles réflexions à beaucoup d'esprits jusqu'alors rebelles aux enseignements que l'on pouvait tirer de l'expérience des pays voisins. Les grandes fusions,

résultat des conventions de 1852 et des années suivantes, étaient faites. Les six grands réseaux étaient créés. L'organisme principal était puissamment constitué. On pouvait l'abandonner à lui-même. Il était sûr de vivre et non-seulement de suffire aux frais de l'exploitation, mais d'assurer aux capitaux, engagés dans ces vastes entreprises, une large rémunération.

Ce n'était pas assez, et il n'était pas besoin d'une vue supérieure des choses, pour apercevoir, dès ce moment, la nécessité de compléter les réseaux à peine ébauchés. Ce qui était difficile, ce qui exigeait à la fois une grande résolution et une juste appréciation des besoins de la situation, c'était d'imaginer et de mener à bonne fin la combinaison propre à assurer, sans de trop lourds sacrifices pour le Trésor public, la continuation de l'œuvre commencée, c'est-à-dire l'achèvement des lignes moins productives, alors que les lignes à grand trafic se trouvaient désormais aux mains des six grandes compagnies.

Cette combinaison est l'œuvre propre de M. de Franqueville.

C'est lui qui rédigea et fit accepter par les compagnies et par les pouvoirs publics ces conventions de 1859 qui sont et qui resteront longtemps encore, sans doute, la base même de la législation spéciale. Tout le monde sait en quoi ce système consiste : division des réseaux en deux parties, l'ancien et le nouveau réseau; un prélèvement sur le produit net de l'ancien réseau, sous le nom de revenu réservé, au profit des actionnaires; le déversement du surplus au profit des obligataires du nouveau réseau, jusqu'à concurrence de l'intérêt et de l'amortissement; enfin la garantie de l'État en cas d'insuffisance, tels sont les traits principaux de ce système ingénieux.

Que ce système ait été critiqué, qu'il suscite aujourd'hui même la juste sollicitude de nos commissions de finances, nous le comprenons, et son auteur le comprenait aussi bien

que personne, car il n'y avait pas d'esprit moins systématique, moins enclin à l'absolu. Il en exposait lui-même les côtés faibles avec une bonne foi parfaite; mais il en justifiait l'emploi dans les circonstances où l'on y avait eu recours, par cette double considération bien digne assurément de fixer les esprits attentifs. Sans la garantie d'intérêt, qui assurait le concours des compagnies, les lignes secondaires seraient encore à l'état de projet, et de 5.000 kilomètres qu'il était en 1852, le réseau de nos chemins de fer ne se serait pas élevé au chiffre de 22.000 qu'il atteint aujourd'hui. Dans tous les cas, l'État, constructeur direct, eût été privé des 400 millions dont, par l'effet du déversoir, les compagnies ont fait bénéficier le deuxième réseau. Enfin, la garantie d'intérêt n'est qu'une avance. Si, à ce titre, les compagnies doivent à l'heure actuelle 450 millions au Trésor public, cette avance est garantie par un matériel d'une valeur trois ou quatre fois supérieure. C'est là que l'État doit trouver un jour, plus prochain qu'on ne le croit, l'amortissement le plus sûr et le plus certain de sa dette.

Ces idées-là, messieurs, n'ont pas cessé d'être justes. Elles ont fait leur preuve dans la pratique. En associant les compagnies et l'État, en les liant d'intérêt, à une époque où l'État, livré à lui-même, eût été impuissant, M. de Franqueville a pu s'exposer au reproche d'avoir trop accordé aux grandes compagnies, d'avoir constitué de véritables monopoles et de leur avoir livré, sans garanties suffisantes, toute l'industrie des transports.

Ces reproches sont graves assurément; mais ceux qui les formulent oublient trop aisément que partout où il y a des chemins de fer il y a des monopoles. Ils oublient surtout que grâce à ce lien intime que le système a établi entre les compagnies et l'État, grâce à l'intervention constante de celui-ci dans la tarification, le commerce français paye des prix de transport inférieurs aux prix que paye le commerce

anglais, dans le pays de la concurrence illimitée des voies ferrées.

Je voudrais aussi défendre de Franqueville contre un autre reproche qu'on lui a quelquefois adressé. M. de Franqueville aimait les chemins de fer, et dans ce sentiment il y avait bien, en effet, quelque chose de la paternité. Il avait assisté à leur invention; il avait vu leurs premiers essais; il avait concouru à leur développement. Est-il vrai qu'il leur ait tout sacrifié et que, pendant qu'il a eu dans ses mains la double direction des voies ferrées et des canaux, il ait subordonné avec excès ceux-ci à celles-là et constamment dénié à ces voies anciennes et de plus en plus nécessaires la juste part d'importance qui leur appartient?

Messieurs, j'ai le droit de dire, parce que j'en ai fait l'expérience, que M. de Franqueville avait l'esprit assez large pour embrasser dans son ensemble la grande question des transports. C'est sous son inspiration, c'est avec son concours résolu qu'il a été procédé à l'achèvement des travaux de canalisation commencés sous la Restauration, et notamment des canaux du Berri, de Bourgogne, du Nivernais et du Centre. C'est lui qui a poursuivi et mené à bonne fin la construction du canal de l'Aisne à la Marne, de la Marne au Rhin, du canal latéral à la Garonne, et plus récemment la grande œuvre du canal de l'Est. C'est lui, et ce seul souvenir montre l'injustice du reproche auquel je réponds en ce moment, c'est lui qui, avec M. Legrand, a préparé la grande loi du 29 mars 1845, sur le rachat des actions de jouissance, loi qui, à la fois, délivrait l'État d'inextricables difficultés avec les concessionnaires et, en plaçant les canaux dans les mains du pouvoir central, permettait l'abaissement presque indéfini des tarifs et rendait par cela seul vraiment effective la concurrence des voies de navigation intérieure avec les chemins de fer.

C'est lui enfin qui, dans ces derniers temps, rédigeait

les exposés des motifs des lois que j'ai eu l'honneur de proposer à la sanction des Chambres sur l'amélioration de la Seine, du canal de Bourgogne et du Rhône. La présentation de ces lois dans un aussi court délai depuis mon entrée au ministère n'a été rendue possible que par une longue instruction. Il avait préparé de même et soumis à des études qui seront bientôt terminées une longue série d'améliorations à l'ensemble de nos voies navigables qui, si les Chambres veulent accorder les subsides nécessaires, assureront de la manière la plus large le développement de la navigation intérieure.

Si je voulais, messieurs, rappeler toutes les grandes œuvres auxquelles M. de Franqueville a appliqué les forces de son esprit, je fatiguerais votre attention. Mais je tiens à rappeler encore que, sous son habile direction, plus de cent ports ont pris part, depuis 1838, aux allocations du budget. Le développement du port du Havre, par l'élargissement du bassin Vauban, la construction des bassins de l'Eure et de la Citadelle; à Marseille, l'établissement des ports de la Joliette et d'Arenc, la construction du bassin National; à Brest, le port de commerce; à Saint-Nazaire et à Bordeaux, les nouveaux bassins, tous ces grands travaux qui sont l'honneur de notre génie civil sont, en partie, dus à son intelligente coopération.

Pendant trente ans, M. de Franqueville a été comme le centre où convergèrent toutes les études et tous les travaux de notre admirable corps des ponts et chaussées. Il en a été la personnification vivante et agissante, toujours alerte, toujours prête, toujours infatigable. Jamais il n'apporta dans l'administration cette prétention à l'infaillibilité qui d'un contradicteur fait un adversaire irréconciliable. L'ingénieuse souplesse de son esprit le disposait aux accommodements. Là où d'autres mettent de la morgue et de la hauteur, il mettait, lui, de la patience et de la modération.

D'une prodigieuse mémoire, il trouvait, sans effort, à

l'heure voulue, le précédent topique. Sa facilité de parole trouvait l'auditeur toujours attentif. Il ne recherchait pas l'éclat; mais il avait la sobriété, la netteté parfaite de la démonstration. Ses discours au Corps législatif le montrèrent, sous cet aspect nouveau, orateur disert, prêt à la réplique, muni de documents et de faits, homme d'affaires consommé.

M. de Franqueville aimait le corps des ponts et chaussées. Il en était justement fier, comme le corps était fier de lui. Aussi avait-il dans ces derniers temps coopéré, avec une sorte de joie, aux mesures d'application qui ont suivi le vote des lois des 16 et 31 décembre 1875, et les résolutions plus récentes de la commission du budget. La construction des chemins de fer par les ingénieurs de l'État, en dehors des avantages de célérité et d'économie qu'elle procurera au Trésor, lui semblait, au point de vue du corps, une résolution excellente.

Élever le niveau des études, développer l'expérience par la pratique, provoquer les aptitudes, multiplier les occasions de bien faire en élargissant le champ d'action de nos ingénieurs, n'est-ce pas, en effet, un sûr moyen d'affermir le juste renom d'habileté et d'honorabilité qu'a conquis, depuis son origine, la plus ancienne de nos institutions administratives?

Je m'arrête, messieurs, non que je craigne d'abuser de votre patience en vous parlant d'un homme qui vous était cher à tant de titres; mais quelqu'un d'entre vous écrira cette vie qui doit être montrée à tous, ses émules et ses disciples, comme un modèle et un exemple. Pour moi, qui m'honore d'être votre chef et qui resterai toujours votre ami, j'ai voulu vous dire en quelle estime je tenais l'un des vôtres. J'unis mes profonds regrets à votre légitime douleur : je sens le vide immense qui s'est fait à côté de moi et je vous demande à tous, au nom de celui que nous pleurons, de redoubler d'efforts, dans la sphère qui nous est départie, pour la grandeur et la prospérité de la patrie.

2e DISCOURS

De **M. AUCOC**, président de section au Conseil d'État.

Messieurs,

J'ai le devoir d'apporter sur cette tombe l'expression des vifs regrets du Conseil d'État. Si M. de Franqueville a appartenu pendant quarante ans au ministère des travaux publics, il a pendant près de vingt ans fait partie du Conseil.

Dans les différentes organisations qu'on a données à ce grand corps depuis le commencement du siècle, on a presque constamment jugé utile de faire participer activement aux délibérations de ses membres ordinaires les principaux chefs des services publics, qui viennent y apporter les fruits de leur expérience quotidienne des affaires et des difficultés que soulève la marche de l'administration. Grâce à cette collaboration, les projets de lois, de règlements et de décisions, préparés par le Conseil, et qui touchent à des matières si variées, peuvent répondre aux besoins de la pratique sans blesser les principes, l'administration peut satisfaire l'intérêt public sans violer les droits privés, et le contrôle du Conseil d'État est accepté avec déférence et avec confiance.

Telle est la nature du concours que M. de Franqueville a donné pendant vingt ans aux travaux du Conseil, comme l'avaient fait ses éminents prédécesseurs depuis le consulat : M. Crétet, M. Montalivet, M. le comte Molé, M. Becquey, M. Legrand.

Il était devenu directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer en 1855. Il est entré au Conseil en 1857, au moment où se préparaient les nouvelles combinaisons adoptées par le ministère des travaux publics, en présence d'une crise grave, pour assurer l'exécution du

réseau de nos chemins de fer, sans amener les désastres financiers qu'on a vus se produire à diverses reprises en Angleterre et en Amérique.

Il ne suffisait pas d'avoir élaboré le mécanisme de ces combinaisons, d'avoir négocié avec les grandes compagnies pour arrêter les conventions ; il fallait persuader le Conseil d'État, il fallait convaincre le Corps législatif. Sa parole si facile et si claire, qui ne laissait rien d'obscur dans l'exposé des questions techniques, qui groupait si habilement les faits, qui mettait si bien en relief les arguments décisifs, a largement contribué au succès de ces combinaisons, auxquelles son nom restera certainement attaché.

Tel il a été au début, tel nous l'avons vu depuis cette époque, déployant les mêmes ressources pour remanier les conventions de manière à les mettre en harmonie avec les besoins du pays, et pour les défendre contre les critiques auxquelles elles ne pouvaient échapper. Tel nous l'avons encore vu au Conseil d'État en 1875, lors de la discussion des dernières conventions qui ont, après de vifs et brillants débats dans le sein de l'Assemblée nationale, consacré et complété cette œuvre considérable.

Mais quelle que fût l'importance de la question des chemins de fer, M. de Franqueville ne s'y absorbait pas. Toutes les questions que soulevait le vaste service des ponts et chaussées, routes, navigation, ports, phares, irrigation, avaient fait de sa part l'objet des études les plus approfondies. Il en reste de nombreux témoignages dans la série des discours qu'il a prononcés au Corps législatif, lors de la discussion des budgets de 1857 à 1870.

Si longue qu'eût été sa carrière, quelques fatigues que lui eût fait éprouver un travail incessant, nous ne pouvions nous attendre à être privés si promptement d'une collaboration à laquelle ses lumières et l'aménité de son caractère nous faisaient attacher tant de prix.

Et cependant, tout en sentant vivement sa perte, nous

ne pouvons oublier que le Conseil d'État ne le perd pas tout entier. M. de Franqueville avait eu la satisfaction de voir se développer le talent et la carrière d'un fils qui s'est déjà distingué par de remarquables travaux. C'était pour lui un juste sujet d'orgueil. Au milieu des consolations d'une fin chrétienne, il a sans doute trouvé dans cette pensée une douce consolation. Notre jeune et cher collègue perpétuera dans le Conseil le souvenir des grands services rendus par son père et des précieuses qualités qui lui avaient mérité de si vives affections.

3° DISCOURS

De **M. DE BOUREUILLE**, secrétaire général du ministère des travaux publics.

Messieurs,

Après les discours si éloquents et si complets que vous venez d'entendre, je ne puis songer à retracer devant vous, avec détail, les diverses phases de la carrière de M. de Franqueville ; mais il m'a paru qu'il m'appartenait, à moi qui ai été son collègue et son ami pendant près de quarante années, qui ai vécu pendant ce long espace de temps de la même vie administrative que lui, de venir, en mon nom et au nom de tous nos collaborateurs du ministère des travaux publics, lui adresser un dernier adieu.

Hélas ! messieurs, le ministère des travaux publics est bien cruellement éprouvé depuis quelque temps ; il y a quelques mois à peine, nous conduisions à sa dernière demeure notre excellent chef du personnel, M. Porée, qui, lui aussi, avait fourni la plus honorable carrière ; un autre chef de division l'avait précédé de moins d'une année, et aujourd'hui c'est l'une des principales colonnes de ce mi-

nistère qui lui est enlevée par une catastrophe que rien ne pouvait faire pressentir.

La vie sans doute est remplie de ces douleurs inattendues; mais quelque habitué qu'on doive être à ces brusques séparations, elles causent toujours la plus vive et la plus légitime impression.

Depuis l'année 1838, où M. de Franqueville avait été appelé par notre maître à tous deux, M. Legrand, alors directeur général des ponts et chaussées et des mines, pour partager ses travaux, nous ne nous sommes jamais quittés, nous avons toujours tracé le même sillon, dans des services différents, il est vrai, mais qui avaient les uns avec les autres des rapports intimes; pendant près de quarante années, ces rapports se sont continués sans que jamais aucun nuage soit venu les troubler. Ce n'est pas impunément que de tels liens se brisent, et ce n'est pas sans le plus profond déchirement que l'on voit cesser brusquement des relations que chaque jour ne faisait que resserrer davantage.

Vous comprendrez donc, messieurs, notre émotion à tous à la nouvelle du fatal événement qui nous rassemble ici; mais en pareil cas les douleurs personnelles doivent s'effacer : ce que nous devons voir surtout, c'est l'étendue de la perte que fait l'administration à laquelle appartenait notre éminent directeur général, et que fait le pays avec elle.

A sa sortie de l'École polytechnique, M. de Franqueville est entré à l'École des ponts et chaussées, et là il s'est placé au premier rang; bientôt il a été chargé de missions et de services divers, et partout il s'est fait remarquer par son intelligence, son esprit d'observation, son jugement fin et délicat et sa grande facilité de travail : ces qualités le désignaient au choix du chef de l'administration des ponts et chaussées, et en 1838 il est entré dans cette administration pour y diriger le service de la navigation.

C'est à cette époque qu'il a eu à prendre part à la préparation des grands projets de lois de crédits pour le perfectionnement des voies navigables et l'amélioration des ports de commerce.

Plus tard, en 1852, il réunit le service des routes à celui de la navigation avec le titre de directeur, et cet accroissement d'attributions n'est pour lui qu'une occasion de montrer d'une manière plus éclatante et sa haute capacité et son dévouement aux intérêts dont le soin lui était confié.

En 1855 enfin, il est appelé avec le titre de directeur général à diriger à la fois tous les services des grandes voies de communication de la France, routes, rivières et canaux, ports maritimes et chemins de fer.

Pendant vingt ans, M. de Franqueville a conduit ces divers services à la fois, et c'est là surtout qu'il a prouvé ce qu'il valait et ce qu'il pouvait faire.

Jusqu'en 1855, il n'avait pas eu à s'occuper, comme administrateur, des questions de chemins de fer.

Avant 1855, les lois qui avaient constitué le réseau des grandes lignes, et spécialement la loi de 1842, qui avait assuré à l'exécution de ce réseau le concours de l'État, avaient été rendues; la loi du 15 juillet 1845, qui déterminait le régime des chemins de fer, et le règlement du 11 novembre 1846, qui fixait les règles relatives à l'exploitation technique et commerciale de ces chemins, avaient été promulgués; enfin, diverses lois et conventions spéciales avaient accordé aux compagnies, en les divisant par réseaux, le concours de la garantie d'intérêt de l'État. Il a fallu que M. de Franqueville s'assimilât, dans un temps très-court, tous ces monuments de législation, toutes ces conventions et les règlements qui s'y rapportaient, pour en diriger l'application dans leur sens véritable, et en ayant toujours devant les yeux les intérêts généraux de l'État et ceux du public. Non-seulement il n'a pas failli à cette tâche considérable, mais il a su encore préparer ces nombreuses

conventions qui ont été passées de 1859 à 1876 avec les compagnies, et qui ont créé le second, et je puis dire le troisième réseau des chemins de fer.

M. le ministre des travaux publics vient de rappeler d'après quel système ingénieux ces conventions ont fait servir les excédants de produits des anciens réseaux à la rémunération d'une partie au moins du capital nécessaire à l'exécution des nouveaux réseaux, et l'on peut dire que, grâce à l'application de ce système, le pays a pu être doté de la plus grande partie des lignes de fer nécessaires au développement de sa prospérité. C'est là, messieurs, une œuvre que la France n'oubliera pas; elle sera toujours reconnaissante envers ceux qui y ont concouru, et M. de Franqueville est au premier rang.

Voilà, messieurs, quel était l'homme public chez mon excellent collègue; voilà quels services il a rendus. L'homme privé n'avait pas de moindres qualités; esprit enjoué et aimable, M. de Franqueville était plein de bienveillance pour tous; affable et facilement accessible pour les employés sous ses ordres, il n'avait jamais une parole amère pour personne, et dans les discussions, soit au Conseil d'État, soit au Conseil des ponts et chaussées, où sa parole était très-écoutée, il ne se laissait jamais aller à une vivacité qui eût pu être pénible pour ses contradicteurs.

M. de Franqueville souffrait depuis quelques années d'une affection nerveuse qu'avait amenée chez lui l'excès du travail à une époque déjà reculée, mais cette affection n'est pas celle qui l'a enlevé. Sans l'accident imprévu qui l'a emporté, il aurait pu rendre encore pendant plusieurs années d'utiles services à l'État. La Providence en a disposé autrement, nous ne pouvons que nous incliner devant ses décrets.

Notre éminent collègue n'a pas voulu, d'ailleurs, quitter la terre sans penser au ciel; dès qu'il a senti que sa mort était voisine, il a réclamé les secours de la religion, et il a

donné ainsi un témoignage public de sa foi : c'est pour sa famille une grande consolation.

En résumé, messieurs, la vie tout entière de M. de Franqueville a été une vie de travail, d'honneur et de dévouement; c'est le seul héritage qu'il laisse à son fils et à ses petits-enfants : c'est aussi celui qui leur sera le plus précieux, parce que cet héritage emporte toujours avec lui la reconnaissance publique et l'estime des gens de bien.

4° DISCOURS

De **M. KLEITZ**, vice-président du Conseil général des ponts et chaussées.

Messieurs,

C'est au nom du Conseil général et des ingénieurs des ponts et chaussées que je viens rendre aussi un dernier hommage à l'homme éminent que nous pleurons.

Son camarade d'école, lié à lui par une amitié cordiale et confiante qui se fortifiait en moi d'un dévouement respectueux, j'ai pu apprécier, depuis près d'un demi-siècle que nous nous connaissions, toutes ses brillantes et aimables qualités de l'esprit et du cœur. Aujourd'hui je suis profondément ému de la perte irréparable que font, en sa personne, l'administration des travaux publics et le pays tout entier, regrettant d'être un interprète bien insuffisant des sentiments de vive affliction de mes collègues et des ingénieurs de tous grades qui ont connu et aimé M. de Franqueville.

Lorsqu'un homme qui a imprimé son cachet à tant de vastes opérations dans l'une des branches les plus importantes de l'activité humaine, et qui a su remplir sa tâche à la satisfaction générale, est subitement frappé par une mort foudroyante, dans la plénitude de ses facultés, c'est un malheur public, un deuil national dont des voix plus

éloquentes et plus autorisées que la mienne vous ont fait comprendre toute l'étendue. Mon rôle, messieurs, se borne à vous parler de la vie d'ingénieur de M. de Franqueville, ainsi que des rapports qu'il avait, par ses fonctions de directeur général, où d'ailleurs il ne cessait pas d'être ingénieur, avec le Conseil général des ponts et chaussées, dont il était membre de droit.

Sorti le premier de l'École polytechnique en 1829, il choisit la carrière qui répondait le mieux à ses aptitudes.

Il ne tarda pas à se distinguer dans les services d'ingénieur dont il était chargé, et bientôt il attira l'attention de l'illustre directeur général des ponts et chaussées et des mines, M. Legrand, qui lui confia, en 1838, la division de la navigation au ministère des travaux publics. Il fut ensuite appelé, en 1853, à la direction des ponts et chaussées, et nommé, en 1855, directeur général des ponts et chaussées et des chemins de fer. Depuis lors, il a occupé ce poste élevé, où il a contribué, plus que personne, à imprimer aux travaux publics, en France, le développement considérable qu'ils ont pris durant cette période.

Il était en même temps conseiller d'État en service extraordinaire.

Dans la hiérarchie des ponts et chaussées, il a passé par tous les grades, dans les conditions réglementaires, et a obtenu, en 1863, celui d'inspecteur général de 1re classe.

Dans l'ordre de la Légion d'honneur, il a été promu, en 1868, au grade de grand officier.

Parmi les travaux si variés auxquels la direction générale des ponts et chaussées et des chemins de fer avait à donner l'impulsion, M. de Franqueville a montré une prédilection marquée pour les travaux de navigation, se rappelant que c'était par là qu'il avait débuté dans sa carrière administrative. Il s'est toujours préoccupé vivement de l'amélioration de nos ports et de nos voies navigables, et si ces travaux n'ont pas reçu un développement plus prompt

et plus étendu, c'est uniquement à l'insuffisance des ressources budgétaires qu'on doit l'attribuer.

Son nom, joint à celui des ingénieurs préposés à l'exécution des travaux, restera attaché à d'innombrables entreprises de premier ordre, réalisées dans nos ports maritimes, dans l'éclairage si complet de nos côtes, sur nos canaux anciens et nouveaux, sur nos grands fleuves et sur nos rivières canalisées.

Lorsque les besoins de l'industrie et du commerce réclamant des transports rapides, et aussi l'entraînement de l'opinion publique, vinrent donner la prépondérance aux chemins de fer, il ne se relâcha pas de ses efforts en faveur de la navigation, soutenant hautement la nécessité de la concurrence entre les voies navigables et les voies ferrées.

Il s'est appliqué avec bonheur, dans ces dernières années, à faire aboutir la belle et grande entreprise du canal de jonction de la Meuse et de la Moselle avec la Saône, et tout récemment encore à préparer des projets de loi pour l'amélioration de la Seine et du Rhône.

Dans le domaine des chemins de fer, le rôle de M. de Franqueville a eu une influence immense. Il a été le principal auteur de la plupart des traités de concession; il a contribué activement à la constitution des grands réseaux, et c'est à lui qu'est due l'application si féconde du système de la garantie d'intérêts qui a permis de donner à nos chemins de fer un développement inespéré, en faisant déverser une notable partie des produits des lignes les plus prospères sur les lignes dont l'exécution eût été onéreuse.

Dans la préparation des conventions avec les compagnies concessionnaires, il a toujours défendu fermement les intérêts de l'État; les directeurs de ces compagnies peuvent attester que, par sa parole entraînante, par son esprit juste et pratique, par son caractère loyal et conciliant, il leur a fait accepter souvent des sacrifices qui soulevaient d'abord d'assez vives objections de leur part.

Parvenu, par son seul mérite, à une position beaucoup plus élevée que ses contemporains de l'École des ponts et chaussées, M. de Franqueville est toujours resté à leur égard le meilleur des camarades. Ne tirant jamais vanité d'une situation privilégiée, il conservait le charme de la simplicité et de la modestie. Il connaissait les ingénieurs, soit personnellement, soit par leurs travaux, et s'intéressait à leurs succès. Ceux qui ont eu la bonne fortune de l'accompagner dans ses tournées ne perdront jamais le souvenir de son accueil bienveillant et de sa conversation fine, spirituelle et instructive.

Il aimait à rendre service. Son devoir l'obligeait cependant à refuser souvent ce qu'on lui demandait; mais il justifiait si bien son refus qu'il ne provoquait pas l'ombre d'un ressentiment.

Indépendamment de cette aménité de caractère, il réunissait, à un haut degré, les qualités que le corps des ponts et chaussées s'honore de maintenir dans son sein, comme ses titres à l'estime publique : l'amour de l'étude et du travail, l'intégrité, et la soumission au devoir.

C'est surtout au Conseil général des ponts et chaussées que ses collègues ont pu apprécier tous ses mérites. Son érudition embrassait les questions techniques comme les questions administratives, et ses avis puisaient une autorité spéciale dans sa connaissance approfondie de la jurisprudence du Conseil d'État. Doué d'une mémoire parfaite, il savait les précédents de toutes les affaires, à quelque époque que remontât leur origine. Ses explications nettes et persuasives apportaient toujours des lumières précieuses aux délibérations du Conseil; le vide qu'il y laisse sera bien difficilement comblé.

Maintenant, doit-on se demander comment il a pu suffire à la tâche écrasante à laquelle ses fonctions multiples l'assujettissaient? Il fallait pour cela sa vive intelligence, son jugement prompt et sûr, sa facilité et sa puissance pro-

digieuses de travail; il fallait surtout son dévouement absolu à l'accomplissement du devoir. Il travaillait sans relâche, et comme le facile accès de son cabinet au ministère amenait de fréquentes interruptions, il achevait chez lui les travaux qui exigeaient de la continuité.

Mais si ses facultés de l'esprit et ses facultés morales étaient de force à résister à cette application constamment tendue, sa santé en était nécessairement ébranlée. Depuis plusieurs années il éprouvait une fatigue extrême à l'approche des vacances; il lui suffisait alors d'un repos de quelques semaines pour être en état de recommencer ses labeurs. Cette année, lorsque je me séparai de lui, il y a un mois, il se disposait à prendre encore un repos dont il avait le plus grand besoin.... Hélas! il était trop tard. Il a donc succombé sous le travail excessif que, dans son zèle ardent, il s'imposait comme un devoir, et l'on peut dire vraiment que c'est au champ d'honneur qu'a fini cette existence si consciencieusement remplie d'éclatants services rendus au pays.

Animé d'une piété profonde, s'étant toujours conduit en homme de bien, il a vu venir la mort avec la calme résignation du chrétien.

Il laisse un fils, maître des requêtes au Conseil d'État, qui a déjà acquis une notoriété méritée par des publications importantes et qui suivra dignement les traditions d'honneur et de travail qui lui sont léguées.

Les meilleures consolations, messieurs, que nous laissent ceux que nous perdons se trouvent dans le souvenir de leurs vertus et la certitude d'une récompense suprême. Puisse l'affliction de la famille de notre cher et bien regretté de Franqueville recevoir quelque adoucissement de cette pensée pieuse, ainsi que du témoignage des sentiments d'affection et de gratitude du corps des ponts et chaussées à l'égard de l'éminent directeur général qu'il comptera parmi ses membres les plus illustres!

5° DISCOURS

De **M. LALANNE**, inspecteur général des ponts et chaussées.

Messieurs,

Qu'il soit permis à l'ancien ami d'enfance, à celui qui pouvait, il y a quelques jours encore, évoquer des souvenirs communs remontant à plus de cinquante-cinq ans, de dire à son tour un dernier adieu à l'homme éminent dont nous allons nous séparer. D'autres voix. plus autorisées, ont raconté sa carrière technique et administrative, rappelé les services rendus, fait ressortir les rares facultés que Franqueville a déployées dans le cours de sa longue et laborieuse carrière.

Mais de quelle auréole les qualités de cœur innées en lui n'ont-elles pas entouré tous ses actes! Les brillants succès qu'il obtenait dans le cours de ses études faisaient de ses rivaux mêmes des amis, tant il savait adoucir l'éclat du triomphe par sa modestie et par son aménité. Parvenu par degrés successifs à la position la plus haute que puisse occuper un ingénieur (en dehors de la politique), il avait la satisfaction de savoir que sa supériorité n'était contestée par personne, et que les décisions intelligentes qui l'avaient appelé à ce rôle élevé étaient consacrées par l'assentiment unanime. C'est qu'il n'avait jamais oublié ni son origine, ni les devoirs qu'elle créait à ses yeux, et qu'il n'avait pas séparé, dans l'exercice de ses hautes fonctions, le dévouement sans bornes aux intérêts de l'État d'une sympathie constante et toujours active pour le corps auquel il n'avait pas cessé d'appartenir. Accessible à tous, il prêtait une oreille attentive aux vœux personnels qui n'avaient rien d'incompatible avec le bien du service, et usait de son influence pour faire donner satisfaction à ceux qu'il jugeait légitimes. Cette bienveillance était d'autant plus appréciée,

qu'elle n'avait rien de banal, et qu'elle se manifestait, indépendamment de toutes relations antérieures, surtout en faveur des ingénieurs qui lui paraissaient accomplir leur tâche avec le plus de dévouement et de capacité. Il n'a jamais hésité, d'ailleurs, à revenir d'un jugement défavorable, si l'on en appelait à lui-même en réclamant un plus ample informé.

Ses conseils, qui, sans être toujours des ordres, étaient de nature à éclairer et à guider dans des conjonctures délicates, ont exercé la plus salutaire influence sur la conduite des travaux et sur la marche des affaires. Il est peu d'ingénieurs, même parmi ceux des jeunes générations, qui ne les aient demandés, et qui ne se soient bien trouvés de les avoir écoutés. Pour nous, ses contemporains, qui étions le mieux à même de l'approcher, qui avions le bonheur de le voir siéger avec nous dans toutes les séances importantes du Conseil, nous sommes les plus cruellement atteints par le coup qui nous l'enlève. Mais quel est le membre du corps des ponts et chaussées, quel est le fonctionnaire ou l'employé de l'administration des travaux publics qui soit resté indifférent, qui n'ait ressenti le contre-coup de ce funeste événement? A mesure que la triste nouvelle venait à se répandre, quels tributs d'éloges, que de panégyriques sincères! Quelles expressions touchantes de profonde douleur!

Jamais depuis la mort de M. Legrand, dont il fut l'élève de prédilection et l'ami, la perte d'aucun membre du corps n'avait déterminé une pareille explosion de regrets. Ses derniers jours n'ont pas été sans être mêlés de quelque amertume, alors qu'il voyait mettre en doute les résultats de l'œuvre puissante à laquelle il avait tant contribué, à laquelle il travaillait sans cesse, dans la mesure des ressources financières mises à sa disposition, l'amélioration et le développement de nos voies navigables.

Mais il avait bientôt puisé dans les témoignages d'es-

time et de confiance auxquels il tenait le plus la force d'affronter cette épreuve. Le 10 août, dans une conversation empreinte de la gravité triste qui convient à des adieux entre gens de notre âge, alors même qu'on ignore qu'ils sont définitifs, il me montrait, avec une véritable satisfaction, le passage dans lequel le rapporteur de la commission du budget des travaux publics en 1877 rend hommage à ses éminents services. Il partait peu de jours après, ne devant pas revenir, hélas! autrement que pour trouver ici sa demeure dernière; mais il partait avec l'esprit tranquille.

Le ministre auquel il prêtait son concours le plus dévoué l'avait apprécié et le lui avait dit; il ne lui en avait pas fallu davantage. Il nous suffit aussi à nous, les amis, les anciens condisciples de Franqueville, de rappeler les termes dans lesquels le chef du département des travaux publics a exprimé les sentiments que lui inspire cette mort prématurée : « J'avais, pendant le trop court temps où nous avons travaillé ensemble, apprécié ses éminentes qualités, sa haute intelligence, sa patience au milieu des difficultés, son amour infatigable du travail; au-dessus de toutes choses la bonté, la douce sérénité de ce grand esprit. Je perds en lui un collaborateur hors de pair et, j'aimais à le penser, un ami. Nul ne sentira plus vivement que moi l'immensité de cette perte cruelle et inattendue. »

Cher Franqueville, tu as vécu par le cœur non moins que par l'intelligence. Ce tribut d'unanimes regrets dont je viens de citer l'expression la plus élevée est pour ta mémoire un honneur que tu aurais apprécié. Tu peux dormir en paix sans craindre ni d'être jamais oublié d'aucun de ceux qui ont été à même de te connaître, ni que le bien que tu as fait ne laisse pas de traces durables : tu as semé dans une terre féconde.

Adieu, cher Franqueville, adieu!

N° 45

PONT DE GRENELLE.

NOTICE

Par M. VAUDREY, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Le pont de Grenelle a été construit par la compagnie concessionnaire des pont, port et gare de Grenelle, moyennant un droit de péage à percevoir pendant quarante-sept ans. Le pont, dont la construction a été commencée à la fin de 1825, a été livré à la circulation le 1er mai 1827; la concession ne devait expirer que le 1er mai 1874. Par un traité en date du 30 décembre 1865, la compagnie a cédé sa concession à la ville de Paris à partir du 1er janvier 1866, et le service des ponts de Paris a été chargé de l'entretien du pont à partir de cette époque.

Le pont de Grenelle, divisé en deux parties égales par la digue qui forme la gare de Grenelle, était composé de 6 travées en charpente reposant sur les piles et culées en maçonneries fondées sur pilotis.

Les travées, en arc de cercle, avaient 25 mètres d'ouverture et $3^{m},30$ de flèche; chaque arche se composait de 7 fermes en charpente.

De 1849 à 1856, la compagnie concessionnaire avait dû procéder à la réfection des fermes de toutes les arches.

1849,	reconstruction des fermes	de l'arche	4
1850	—	—	5
1851	—	—	6
1853	—	—	2
1854	—	—	3
1856	—	—	1

Postérieurement à ces travaux, des déformations importantes se sont produites dans les fermes, notamment dans celles de l'arche 3. On a cherché à consolider cette arche en rapportant entre l'arc et le longeron, au droit du 3ᵉ et du 8ᵉ cours de moises pendantes, une pièce transversale assemblée par entaille sur chacun des arcs, et l'on a rétabli de niveau, au moyen de cales, le plancher de cette arche. L'affaissement du sommet des fermes de l'arche 3 était de $0^{m},09$ en 1854. En 1868, le sommet des fermes s'était affaissé de nouveau de $0^{m},01$; on s'était borné à relever la chaussée en augmentant l'épaisseur de la forme en sable. De 1868 à 1872, il s'est produit un nouvel affaissement de $0^{m},08$. Les arcs des fermes s'aplatissaient du côté de la rive gauche et tendaient à se relever du côté de la rive droite. En outre, les fermes se déviaient de la direction rectiligne en se reportant vers l'amont, et présentaient en plan une flèche assez prononcée. Enfin, dans le plan vertical, les fermes se déversaient de l'aval vers l'amont.

Nous avons cherché alors à renforcer l'entretoisement au moyen de 4 grands boulons allant d'une tête à l'autre et traversant toutes les fermes de l'arche 3; des étais placés entre les fermes, au droit des boulons, et fortement serrés avaient permis de redresser les fermes dans le sens de la projection horizontale.

On avait ensuite rétabli le plancher de niveau, et nous nous étions assuré, en outre, que les bois n'étaient pas en mauvais état.

Ces travaux n'ont pas arrêté les mouvements, dès le mois de mai 1873 nous constations des mouvements très-sensibles à l'œil. Pendant la fête de nuit offerte le 13 juillet 1873, par la ville de Paris à S. M. le schah de Perse, les ponts en amont du Trocadéro étaient interdits à la circulation, et le pont de Grenelle avait eu à supporter une circulation énorme, le lendemain de cette fête nous consta-

tions que les déformations des arches 3 et 6 avaient augmenté d'une manière importante.

L'abaissement total du sommet des fermes de l'arche 3 était de 0^{m},365 ; il s'était produit successivement, savoir :

De 1854 à 1864	0^{m},09
De 1864 à 1868	0 ,10
De 1868 à 1872	0 ,08
De novembre 1872 à mai 1873	0 ,045
De mai 1873 à septembre 1873	0 ,05
Total	0^{m},365

Les fermes de l'arche 6 présentaient un abaissement total de 0^{m},25 qui s'était produit, savoir :

De 1851 à 1867	0^{m},14
De 1867 à 1873	0 ,11
Total	0^{m},25

Nous n'avions pas de repères pour 1872, mais nous pouvons affirmer que de 1872 à 1873, l'affaissement a été d'au moins 0^{m},05.

Pour l'arche 5, l'affaissement total était de 0^{m},125 ; il s'était produit, savoir :

De 1850 à 1870	0^{m},055
De 1870 à septembre 1873	0 ,07
Total	0^{m},125

Les charpentes du pont de Grenelle, construites de 1825 à 1827, avaient dû être refaites de 1849 à 1856, c'est-à-dire après 25 ans. En 1873, les charpentes de l'arche 3, refaites en vieux bois, avaient 19 ans. Celles de l'arche 6, faites en bois verts, étaient âgées de 22 ans. Mais ce n'était pas l'altération des bois qui nécessitait la réfection des charpentes, attendu que l'examen le plus minutieux démontrait que les bois n'étaient pas détériorés ; en démolissant les charpentes, on a reconnu qu'elles étaient bien assemblées. Un fait important reste à signaler : les affais-

sements ne se produisaient jamais l'hiver, ce n'était que pendant les chaleurs de l'été qu'ils se manifestaient. Les arcs en charpente présentent, en outre de la dessiccation des bois, deux inconvénients très-sérieux : 1° les pièces, posées bout à bout, n'ont aucune liaison, et le joint ne peut pas résister à une déformation; 2° les pièces superposées qui composent l'arc forment une série de bandeaux indépendants qui travaillent d'une manière très-inégale.

En présence des déformations considérables des fermes des arches 3 et 6, nous avons présenté, à la date du 10 novembre 1873, un projet pour remplacer ces deux arches par des arches en fonte.

Une décision ministérielle, en date du 16 mars 1874, a prescrit de présenter un nouveau projet comportant la reconstruction intégrale de toutes les arches du pont et le renforcement des culées.

Du moment qu'on devait procéder au renforcement des culées, on en a profité pour réduire de $3^m,30$ à $2^m,97$ la flèche des arches de rives, de manière à diminuer l'inclinaison des rampes d'accès. Le nouveau projet a été approuvé par une décision en date du 5 août 1874.

Les travaux de renforcement des culées ont été commencés le 11 août 1874; ils étaient terminés le 31 octobre de la même année. Pour le pont sur le bras gauche, la réfection des arches, commencée le 18 octobre 1874, a été interrompue quelque temps par la gelée et n'a été terminée que le 2 mai 1875. Pour le pont sur le bras droit, la réfection des arches, commencée le 22 mai 1875, était terminée le 1er août de la même année.

Tous les travaux ont été exécutés sans interrompre la circulation.

Renforcement des culées.

Les culées sont au nombre de quatre : une adossée à chacune des rives, deux adossées au terre-plein qui divise

la Seine en deux bras; elles sont fondées à la cote 24,48 (l'étiage conventionnel est à la cote 24,68) sur un plancher en charpente porté par des chapeaux reposant sur des pieux. L'épaisseur des culées qui, au niveau des naissances, était variable (3m,86, 4m,05, 3m,50, 4m,20), a été portée à 6m,40; le massif additionnel, qui est arrasé à la cote 32,00 en moyenne, repose sur un plancher établi à la cote 26,65 et porté par 14 pieux ajoutés à la fondation. Le battage a été fait au milieu des étais d'une fouille de 9 mètres de profondeur ouverte dans un remblai de sable. Pour prévenir les éboulements, on avait étayé la fouille avec un blindage de madriers jointifs. La semelle de la sonnette était au niveau de la chaussée du pont; les jumelles, prolongées en contre-bas de la semelle, pénétraient seules dans la fouille. On avait disposé les étrésillons de manière à les faire correspondre au milieu de l'intervalle, entre deux files de pieux; il fallait remonter les jumelles à chaque ligne d'étrésillons. Ce battage, qui présentait des difficultés sérieuses, a été exécuté d'une manière satisfaisante.

Réfection des arches.

Les piles du pont de Grenelle sont fondées chacune sur 66 pieux. Si l'on avait substitué des arches en maçonnerie aux arches en charpente, il aurait fallu faire porter à chaque pieu des piles d'environ 30 tonnes, ce que nous considérons comme imprudent. On a donc été conduit à remplacer les fermes en bois par des fermes en métal, de manière à ne pas augmenter la charge sur les pieux. Pour des arcs dans lesquels le métal travaille à la compression, comme la fonte coûte moins cher et résiste aussi bien que le fer, il y a avantage à employer la fonte.

Le pont a 10 mètres de largeur entre les têtes; chaque arche est composée de 5 fermes espacées de 2m,50 d'axe en axe; en diminuant l'espacement des fermes, on aurait pu

réduire le poids des poutrelles du plancher, mais on aurait dû conserver la même épaisseur pour les fontes des tympans, attendu qu'on se trouvait à la limite d'épaisseur des grandes pièces en fonte; il n'y avait donc pas lieu d'augmenter le nombre des fermes.

Les arcs ont en coupe la forme double T, ils ont 3ᵐ,39 de flèche pour les arches du milieu et du terre-plein, et 2ᵐ,97 pour celles de rive, 25 mètres d'ouverture, 0ᵐ,70 de hauteur; l'épaisseur de la fonte est de 0ᵐ,018 pour les arcs des fermes de tête, de 0ᵐ,024 pour les arcs de fermes intermédiaires des arches de rives et 0ᵐ,021 pour les arcs des fermes intermédiaires des autres arches, qui ont plus de flèche. Chaque arc est composé de 7 voussoirs.

Chaque tympan est formé de 3 panneaux en fonte évidés en forme d'arcade; l'épaisseur de la fonte du panneau le plus rapproché de la clef est de 0ᵐ,012, celle des deux autres panneaux est de 0ᵐ,016.

Entretoisement des arcs et des tympans.

Aux ponts de Solferino et Saint-Louis, les fermes sont entretoisées au moyen de pièces en fonte assemblées à queue d'aronde dans des boîtes venues de fonte avec les arcs ou les tympans. *Ce système est défectueux;* au pont Saint-Louis, du côté de la rive droite, la joue d'une boîte d'encastrement d'entretoise inférieure est éclatée; du côté de la rive gauche, deux entretoises sont cassées. Au pont de Solferino, sur 384 boîtes d'encastrement des entretoises, 97 ont leurs joues fendues. Nous avons fait constater, au pont du chemin de fer de la Voulte, sur le Rhône, que plusieurs entretoises en fonte étaient cassées. Les pièces qui forment les entretoises des fermes d'un pont en fonte devant travailler à l'extension, il y a tout avantage à les exécuter en fer; nous avons eu la satisfaction de faire adopter ces dispositions par le conseil général des ponts et chaus-

sées, à l'occasion des projets du pont de Grenelle et des ponts Sully sur la Seine, à Paris.

Au pont de Grenelle, pour l'entretoisement des arcs, on a fait venir de fonte sur les deux faces de chaque voussoir, et au quart de la longueur du voussoir, deux oreilles de $0^m,03$ d'épaisseur et de $0^m,225$ de longueur, renforcées par 4 petites nervures. Les entretoises sont formées de deux fers en |___| placés dos à dos, ayant $0^m,25$ de hauteur, $0^m,08$ de longueur d'ailes, pesant 32 kilogrammes le mètre linéaire; elles sont assemblées sur les oreilles en fonte au moyen de trois boulons. Entre ces deux fers, qui sont rivés entre eux, on a interposé une fourrure en fonte de même épaisseur que l'oreille, qui porte sur l'oreille au moyen de cales fortement serrées. Un fer en T, pesant 16 kilogrammes le mètre, placé alternativement en dessus et en dessous des entretoises, est posé en diagonale d'une extrémité à l'autre de deux entretoises contiguës. Ces dispositions sont indiquées par les *fig.* 2, 3 et 4 de la Pl. 20.

Les fermes en fonte qui constituent les arches du pont de Grenelle étant très-minces et très-écartées les unes des autres, nous avons été conduit à entretoiser les arcs d'une manière énergique.

Les tympans sont entretoisés au moyen de poutres en fer allant d'une tête à l'autre et passant dans les joints verticaux des tympans de manière à rendre toutes les fermes solidaires. La poutre qui correspond au joint qui a le plus de hauteur, est formée de quatre croix de Saint-André; deux goussets d'assemblage, de $0^m,80$ sur $0^m,45$, en tôle de $0^m,012$ d'épaisseur sont placés l'un en haut, l'autre en bas, dans le joint vertical des panneaux de tympans; c'est sur ces goussets que sont assemblés, au moyen de rivets, les fers en ⅂⅃ placés horizontalement et diagonalement qui forment l'entretoise. Les fers en diagonale sont réunis par une plaque en tôle à leur point de croisement. Pour l'entretoise la plus rapprochée de la clef, comme elle

a peu de hauteur, son âme est pleine, elle est formée de deux tôles de $0^m,003$ assemblées sur les goussets et de deux fers en ⌐V¬ rivés à la partie supérieure, et deux à la partie inférieure de l'âme. Ces entretoises sont très-rigides dans tous les sens; leurs dispositions sont représentées par les *fig.* 5, 6, 7 et 8 de la Pl. 20.

Au lieu d'oreilles venues de fonte, nous aurions préféré fixer les entretoises des arcs sur des goussets en tôle passant dans les joints des voussoirs; cette disposition n'a été approuvée que pour les tympans.

Poutrelles du tablier.

Les poutrelles qui portent les voûtes en briques qui forment le tablier du pont sont des fers double T de $0^m,16$ de hauteur, de $0^m,12$ de largeur d'aile, pesant $34^k,50$ le mètre courant. Ces poutrelles sont espacées de $1^m,17$ d'axe en axe; elles reposent sur la nervure supérieure du tympan qui forme longeron, et sont boulonnées avec cette nervure. Par suite de l'obligation de ne pas interrompre la circulation, chaque pont a été fait successivement par moitié de largeur; par suite toutes les poutrelles ont un joint sur l'axe de la ferme du milieu; ce joint est fortement éclissé horizontalement et verticalement, de sorte que les poutrelles peuvent être considérées comme des pièces encastrées.

Corniche et parapet.

La corniche est assemblée, au moyen de boulons, sur la nervure des tympans formant longeron. Comme cette nervure est peu épaisse, on a maintenu la partie supérieure de la corniche au moyen d'agrafes en fer scellées dans la maçonnerie en briques du trottoir. Le parapet est formé de panneaux emboîtés dans des pilastres; les pilastres sont encastrés à queue d'aronde dans des boites venues de fonte

avec la corniche. A une des extrémités de chaque panneau, le patin est supprimé sur une longueur de $0^m,12$, de manière à pouvoir engager le panneau de cette longueur dans le pilastre. On le dévêtit ensuite pour l'emboîter dans l'autre pilastre. On peut ainsi démonter isolément chaque partie du garde-corps. Une fois en place, on rapporte une pièce mobile à l'emplacement de la partie supprimée. Les dispositions de la corniche et du parapet sont représentées par les *fig.* 1, 3 et 5 de la Pl. 20.

Voûtes en briques, trottoirs.

Les voûtes qui portent le tablier sont en briques de Bourgogne; elles ont $0^m,11$ d'épaisseur, elles reposent sur l'aile inférieure des poutrelles.

Les voûtes en briques qui correspondent aux extrémités des longerons reposent d'un côté sur l'aile inférieure d'un fer double T rapporté sur le dessus de l'extrémité du longeron, et de l'autre côté sur un fer double T fixé par deux fers d'angle et des boulons après la dernière poutrelle, au milieu de l'intervalle de deux longerons. Ces voûtes sont dirigées suivant l'axe du pont, les abouts du côté de la maçonnerie des fers qui portent ces voûtes sont réunis par un fer plat portant une cornière à sa partie supérieure; entre ce fer plat et la maçonnerie il existe un vide de $0^m,05$ dans le sens vertical qui permet la libre dilatation des longerons; ce vide est couvert par une plaque de tôle scellée sur le massif de la pile ou de la culée et posée simplement sur les voûtes en briques du tablier des arches.

Les voûtes sont revêtues d'une chape en mortier de ciment de Portland; elles sont traversées par des tuyaux en poterie qui assurent l'écoulement des eaux d'infiltration. Sous les trottoirs, un fer double T rapporté à l'extrémité de la poutrelle rachète le relief du trottoir, les voûtes en briques reposent sur l'aile supérieure du fer rapporté. On

a ménagé en arrière de la bordure de chaque trottoir l'emplacement nécessaire pour poser une conduite en fonte de $0^m,20$ de diamètre.

Dispositions prises pour maintenir la circulation.

Avant d'établir trois fermes en métal, il fallait préalablement démolir quatre fermes en charpente, attendu que la quatrième ferme en bois correspondait à la troisième ferme en métal. On a commencé par établir sur les trois fermes d'aval d'un des ponts, qui devaient être démolies les dernières, une chaussée provisoire de $2^m,50$ de largeur bordée de deux trottoirs de $0^m,50$, les voitures ne pouvaient pas se croiser sur cette chaussée provisoire ; un disque placé à chaque extrémité du pont indiquait au gardien, placé à l'autre extrémité, si la voie était libre et s'il pouvait laisser les voitures s'engager sur le pont. Lorsqu'une moitié de pont était reconstruite, on la livrait à la circulation, en faisant encore voie unique pour les voitures.

Avant de faire circuler les voitures sur trois fermes en charpente seulement, on avait placé des croix de Saint-André dans tous les rectangles formés par les arcs et les moises transversales, de manière à prévenir autant que possible les déformations. En outre on s'assurait, au moyen de repères vérifiés fréquemment, que le pont ne se déformait pas. Tout s'est bien passé, mais nous devons avouer que nous avons éprouvé un véritable soulagement lorsque la première moitié du second pont a été livrée à la circulation.

Essais des fontes.

Les pièces en fonte ont été fabriquées par la fonderie de Mazières, près Bourges. La fonte employée se composait d'un mélange d'environ 2/3 de fonte de première fusion pour 1/3 de fonte de deuxième fusion, prise au cubilot et

ajoutée par parties à la poche qu'on remplissait au haut fourneau. A chaque coulée on faisait quatre barreaux d'épreuve de $0^m,04$ de côté et $0^m,20$ de longueur, et deux de $0^m,0815$ de côté et de $0^m,455$ de longueur. Les petits barreaux devaient résister au choc d'un boulet de 12 kilog. tombant de $0^m,65$ de hauteur, le barreau étant placé sur une enclume de 12 kilog. qui reposait sur du sable et dont les couteaux étaient distants de $0^m,16$. On commençait par faire tomber le boulet d'une hauteur de $0^m,65$, et l'on augmentait successivement la hauteur de la chute de $0^m,05$ jusqu'à rupture du barreau. La moyenne de hauteur de chute ayant déterminé la rupture pour 56 barreaux provenant des 29 premières coulées a été de $0^m,81$. La hauteur minimum a été $0^m,70$; elle ne s'est produite que 7 fois sur 56.

Parallèlement au boulet de l'artillerie, nous nous sommes servi de l'appareil de la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, qui est d'une application plus facile : l'enclume pèse 800 kilog., l'écartement des couteaux est le même, le boulet est remplacé par un petit mouton pesant également 12 kilog., qui est maintenu par deux guides verticaux. On commençait par une hauteur de $0^m,35$, qu'on augmentait successivement de $0^m,02$ jusqu'à rupture. La moyenne pour 57 barreaux a été de $0^m,39$; le minimum a été de $0^m,35$, il s'est produit 3 fois sur 57. On peut considérer $0^m,32$ avec la grosse enclume comme correspondant à 0,65 avec la petite.

Pour les 29 premières coulées, les épreuves ont été faites par un temps très-froid; on a évité cette circonstance pour les 69 autres coulées, et l'on a opéré avec la grosse enclume; la moyenne de hauteur a été de $0^m,4165$ pour 138 barreaux. Le minimum $0^m,37$ s'est produit 14 fois.

Les gros barreaux étaient essayés à la flexion au moyen de l'appareil Monge. Le barreau, encastré à une extrémité, porte à l'autre extrémité un plateau qu'on charge de poids.

Les barreaux devaient supporter sans se rompre une charge de 700 kilog. Le plateau représentait un poids de 662 kilog.; on y ajoutait un poids de 40 kilog. qu'on laissait une minute, on ajoutait ensuite successivement des poids de 20 kilog. à des intervalles d'une demi-minute. Pour 195 barreaux la moyenne a été de 889 kilog., le minimum, 702 kilog., s'est produit 4 fois seulement et par un temps très-froid.

Nous avons fait en outre des essais de résistance à l'écrasement; ces essais ont été faits au moyen de parallélipipèdes ayant pour base un carré de $0^m,01$ de côté et une hauteur de $0^m,02$: ces parallélipipèdes étaient pris dans les barreaux ayant servi pour les épreuves avec l'appareil Monge, on les débitait à la surface et au centre des barreaux. Ces parallélipipèdes étaient soumis à des efforts de compression au moyen d'un levier chargé de poids; on constatait la diminution de longueur pour chaque chargement, on établissait à chaque épreuve une courbe de résistance dont les abscisses représentaient les poids, et les ordonnées les diminutions de hauteur. La *fig.* 9 de la Pl. 20 représente les résultats de 4 épreuves.

La courbe formée d'un trait plein représente les résultats obtenus avec de la fonte de Mazières prise sur la paroi du barreau; la courbe à traits interrompus représente les résultats obtenus avec la même fonte, mais prise au centre du barreau.

Jusqu'à 2.500 kilog. les courbes se confondent à peu près; l'homogénéité de la fonte doit être considérée comme très-satisfaisante, surtout si l'on considère que les barreaux avaient $0^m,08$ de côté.

La courbe formée d'un trait alterné avec un point correspond à la fonte de la Voulte-sur-Rhône prise près de la croûte; celle formée d'un trait alterné avec deux points correspond à la fonte prise au centre du barreau. Il y a un écart très-sensible entre la résistance de la croûte et celle

du centre; en outre, la fonte dénote au début de l'épreuve une défaillance très-accentuée. Nous avons donné avec intention ce résultat d'épreuves que nous considérons comme peu satisfaisantes, pour faire voir l'utilité des épreuves à l'écrasement; ces épreuves ne sont malheureusement pas très-faciles à faire : la préparation des parallélipipèdes est longue et minutieuse; peu d'usines possèdent des appareils pour l'écrasement.

La partie en traits plus forts de la dernière ordonnée de chaque courbe représente la réaction de l'appareil, qui cède lui-même à chaque épreuve.

Épreuves des fers.

Les fers employés au pont de Grenelle ont été soumis à des efforts de traction qui ont donné les résultats suivants :

NATURE DES FERS.	LIMITE de résistance par millimètre carré.	ALLONGEMENT.	LIMITE d'élasticité par millimètre carré.
	kilog.	Pour 100.	kilog.
Fers en "V"	43,669	12,0	30,118
Fers plats	38,986	19,5	25,99
Fers à double T	35,84	10,5	19,838

Épreuves du pont par poids mort.

Les épreuves par poids mort consistaient en un chargement de sable uniformément réparti et formant un poids de 400 kilog. par mètre carré. On a procédé de la manière suivante :

Pont sur le bras gauche.

1° *Moitié aval.* — Le 3 mai 1875, on a chargé la moitié du côté droit de chaque demi-arche aval; le chargement

est resté toute la nuit. Le 4 mai, à 6 heures du matin, l'abaissement maximum a été constaté sur le flanc de la ferme 5 de l'arche 2 ; il était de $0^m,003$.

Le 4 mai, on a chargé la seconde moitié de chaque demi-arche, le chargement est resté toute la nuit. Le 5 mai, à 5 heures du matin, l'abaissement maximum a été constaté au sommet de la ferme 5 de l'arche 1; il était de $0^m,0076$. Le 5 mai, on a enlevé le chargement du 3. Le flanc déchargé s'est relevé; le relèvement maximum constaté le 6 mai, à 5 heures du matin, a été sur le flanc droit de la ferme 3 de l'arche 2, où il a atteint $0^m,0032$; le minimum s'est produit sur le flanc droit de la ferme 3 de l'arche 2, où il a été de $0^m,0018$.

Le 6 mai, on a déchargé la seconde moitié de chaque demi-arche. Le 7 mai, à 5 heures et demie du matin, on constatait que l'abaissement maximum qui s'était produit, sous la charge, au sommet de la ferme 5 de l'arche 1, s'était réduit de 0,007 à 0,002; l'abaissement de 0,0064 au sommet de la ferme 3 de l'arche 1 avait persisté. Le diagramme représenté par la *fig.* 10 donne les mouvements de la ferme 4 de l'arche 2.

2° *Moitié amont.* — Le 14 mai, on a chargé la moitié du côté droit de chaque demi-arche amont, le chargement est resté toute la nuit. Le 15 à $5^h,15^m$ du matin, l'abaissement maximum a été constaté sur le flanc droit de la ferme 1 de l'arche 1; il était de $0^m,004$.

Le 15 mai, on a chargé la seconde moitié; le chargement est resté toute la nuit. Le 16 mai, à $4^h,30^m$ complet du matin, l'abaissement maximum a été constaté au sommet de la ferme 2 de l'arche 1; il était de $0^m,0066$.

Le 16 mai, on a enlevé le chargement du 14; le flanc déchargé s'est relevé au maximum de $0^m,0012$, au minimum de $0^m,0002$.

Le 17, on a déchargé la seconde moitié; le 18 mai, à $6^h,30^m$ du matin, on constatait que l'abaissement maximum

au sommet, qui s'était produit à la ferme 2 de l'arche 1, s'était réduit de 0,0066 à 0,0028.

Pont sur le bras droit.

Les épreuves par poids mort ont été faites du 2 au 9 août. L'abaissement maximum s'est produit au sommet de la ferme 1 de l'arche 6; il a été de $0^m,00608$ sous l'influence du chargement complet.

L'abaissement maximum, qui a persisté après l'enlèvement du chargement, a été constaté au sommet de la ferme 4 de l'arche 6; il a été $0^m,0044$.

Épreuves par poids roulant.

Les épreuves par poids roulant ont été faites le 9 août, à 9 heures du matin. On a fait passer d'abord sur les deux ponts douze voitures marchant sur deux de front attelées chacune de 5 chevaux et chargées de 11 tonnes compris le poids de l'équipage; puis on a fait stationner successivement ces douze voitures pendant une demi-heure sur les trois arches de chacun des deux ponts, à raison de quatre voitures par arche. Les effets produits par ces épreuves étaient constatés au moyen d'un enregistreur correspondant au sommet de chaque ferme sous chaussée.

Un levier multiplicateur portant un crayon reproduisait en sens inverse et en les triplant les mouvements de chaque ferme.

Le diagramme, *fig.* 13, 14 et 15, représente à une échelle triple, les oscillations de la ferme 4 de l'arche 4.

Les passages successifs des six groupes de deux voitures sont nettement accusés sur la *fig.* 13; la flexion maximum de la forme a été de $0^m,004$.

Pour le stationnement, l'arrivée des quatre voitures sur l'arche est accusée par une oscillation. (Voir *fig.* 14.)

L'abaissement produit par le stationnement est de $0^m,001$. Au départ, après le stationnement, les voitures marchaient de la rive droite à la rive gauche, et l'arche 4, à laquelle les *fig.* 13, 14 et 15 de la planche se rapportent, a eu à supporter le passage de cinq groupes de deux voitures. Chaque passage est accusé par une oscillation sur la *fig.* 15. Nous répétons que les mouvements indiqués par la courbe sont triples de ceux qui se sont produits dans l'arc.

A la fin de toutes les épreuves la ferme est revenue, à un tiers de millimètre près, à son niveau initial.

Les résultats des épreuves doivent être considérés comme très-satisfaisants.

Dispositions de l'appareil enregistreur.

Lors des expériences faites sur l'arche d'essai en maçonnerie construite à Souppes, nous avions eu l'occasion de faire disposer un appareil enregistreur pour constater les oscillations produites par les chocs. (Voir *Annales*, série 4, tome XVI, page 133.) Cet appareil enregistreur était mis en mouvement à la main. Pour les épreuves du pont de Grenelle, nous avons fait construire des appareils enregistreurs des vibrations, qui sont mis en mouvement par un tournebroche; les dispositions d'un de ces appareils sont représentées par les *fig.* 11 et 12, Pl. 20. Une poulie P fixée sur le tournebroche T met en mouvement, au moyen d'une ficelle, le cylindre A, qui enroule une bande de papier, qui elle-même se déroule du cylindre B, les deux cylindres C et D maintiennent cette bande de papier tendue et lui permettent de résister à la pression du crayon fixé à l'extrémité E du levier EF. L'appareil enregistreur est monté sur un plateau en bois sur lequel le tournebroche peut glisser dans deux coulisses. Une vis sans fin XY, munie d'une manivelle M, permet de régler la tension de la ficelle qui sert de transmission au mouvement du tournebroche.

Lors des épreuves on place l'appareil sur un appui indépendant du pont. La tige FG, qui correspond à l'extrémité F du levier EF, est fixée au moyen d'une mâchoire H sur la partie de l'arc dont on veut constater les vibrations. Cette tige de jonction, qui a été préparée à la demande, porte un pas de vis à chacune de ses extrémités qui permet de régler exactement sa longueur.

Le levier EF est mobile autour de l'axe O, et comme le bras OE a trois fois la longueur du bras OF, le crayon reproduit les mouvements de l'arc à une échelle triple.

Nous avons fait construire dix-huit appareils enregistreurs; le premier de ces appareils a été fait par M. Servais, conducteur des ponts et chaussées de notre service, les dix-sept autres ont été établis par la maison Cail à raison de 40 francs pièce. Nous tenons ces appareils à la disposition de nos camarades qui pourraient en avoir besoin.

Poids du métal employé, Adjudication des travaux, Dépense.

Le tableau ci-après fait connaître la quantité de métal employée dans les différentes pièces qui composent chacune des six arches du pont de Grenelle :

NUMÉROS des arches.	OUVERTURE.	FLÈCHE.	LONGUEUR entre parapets.	PLAQUES de retombée.			VOUSSOIRS.		TYMPANS.		CORNICHES et parapets.		POUTRELLES du tablier.		ENTRETOISES des arcs.			ENTRETOISES des tympans.	
				Fonte.	Boulons.	Acier pour cales.	Fonte.	Boulons.	Fonte.	Boulons.	Fonte.	Boulons.	Fers.	Boulons, rivets et fourrures.	Fer.	Fonte pour fourrures.	Coins, boulons et rivets.	Fer.	Boulons, rivets et fourrures.
	mèt.	mèt.	mèt.	kilog.	kilog	kil	kilog.	kilo .	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	kilog.
1	25,100	2,97	10.128 (1)	2.018 (8)	1.000,00 (2)	240	27.905	223.20	14.696	296,05	19.844 (4)	179,39 (7)	10.061	570,61 (3)	11.186	1.992	1.111,86	5.859	232,88
2	25,057	3,39	10.128	2.000	1.000,80 (2)	227	26.475	223.20	15.275	318,30	20.006 (5)	178,41 (7)	10.061	574,45 (3)	11.161	1.992	1.111,86	5.968	274,26
3	25,057	3,39	10.128	1.989	1.000,80 (2)	201	27.166	223,20	15.647	325,70	19.944 (6)	183,91 (7)	10.063	575,69 (3)	11.140	1.992	1.111,86	6.010	285,44
4	25,057	3,39	10.128	2.046	1.000,80 (2)	225	25.524	223,20	15.604	325,70	21.239 (9)	174,50 (7)	10.063	575,69 (3)	11.202	1.992	1.111,86	6.015	285,44
5	25,057	3,39	10.128	2.045	1.000,80 (2)	222	25.081	223,20	15.199	318,30	20.915 (10)	174,38 (7)	10.061	574,45 (3)	11.219	1.992	1.111,86	5.964	273,26
6	25,100	2,97	10.128	2.041	1.000,80 (2)	223	27,080	223.20	14.686	296,05	20,725 (11)	174,38 (7)	10.060	570,61 (3)	11.161	1.992	1.111,86	5.846	230,88
Totaux.				12.158	6.004,00	1.338	159.231	1.339,20	91.107	1.880,10	122.693	1.064,97	60.369	3.441,50	67.072	11.952	6.671,16	35.662	1.582,16

OBSERVATIONS.

(1) La largeur entre les dés en pierre est de $9^{m},97$.

(2) Ces poids comprennent $88^{k},80$ de fer pour les boulons réunissant les plaques de retombées avec les voussoirs.

(3) Ces poids comprennent les éclisses des joints de poutrelles sur la ferme 3.

(4) Le garde-corps figure dans ce poids pour 9.646 kilog.

(5) — — 9.776 —

(6) — — 9.897 —

(7) Ne sont pas compris dans ces poids les agrafes placées [illegible] la partie supérieure de la corniche [illegible]

(8) Les feuilles de plomb interposées entre les plaques de retombée et les coussinets en pierre pesent pour chaque arche $153^{k},66$.

(9) Le garde-corps figure dans ce poids pour 9.685 kilog.

(10) — — 9.755 —

(11) — — 9.797 —

Les gardes-grève à l'extrémité des voûtes en brique et les tôles de recouvrement des joints de dilatation représentent un poids total de [illegible], qui n'est pas [illegible] dans les colonnes [illegible]

Lors de la construction des ponts de Solferino et Saint-Louis, M. Martin avait dressé un projet et présenté une soumission qui avaient été acceptés par l'administration. Pour le pont de Grenelle, nous avons dressé, de concert avec M. l'ingénieur Pesson, un projet dans la forme ordinaire, qui a été mis en adjudication. D'après la série, les fontes étaient portées à 38 francs les 100 kilog. comme pour les ponts de Solferino et Saint-Louis; l'adjudication a été prononcée en faveur de la maison Cail, qui avait consenti un rabais de 18 p. 100; l'article 19 du devis porte que le poids total de la fonte ne devra pas excéder 380.000 kilog. : l'excédant, qui a été de 17.141 kilog., n'a pas été payé à l'entrepreneur.

L'ensemble des travaux a donné lieu à une dépense de savoir :

Renforcement des culées.	37.122f,62
Substitution d'arches en fonte aux arches en bois et raccordements des abords.	334.001 ,06
Total.	371.123f,68

Soit 218f,13 par mètre carré de pont mesuré entre les parements des culées.

Paris, le 28 janvier 1876.

N° 46

MÉMOIRE

SUR

LES MURS QUI SUPPORTENT UNE POUSSÉE D'EAU

Par M. PELLETREAU, ingénieur des ponts et chaussées.

Considérations générales. — Le présent mémoire a pour but l'étude des diverses questions relatives aux murs de réservoir, aux barrages fixes, etc., en un mot aux murs destinés à résister à l'action d'une masse liquide.

Dans cette question, comme dans toutes celles où il s'agit de résistance de matériaux, il y a beaucoup à dire sur les hypothèses qu'on admet comme point de départ des calculs. Mais, sous peine d'arriver à des résultats qui ne soient pas comparables avec ceux déjà obtenus, il faut partir des bases généralement adoptées. Les ingénieurs qui ont traité la question qui nous occupe ont généralement admis deux hypothèses principales :

1° Un mur qui est poussé par de l'eau résiste par son poids sans travailler à la flexion;

2° Une force oblique qui agit sur une section du mur produit un danger pour l'écrasement équivalent à celui que produirait la composante normale au plan.

Ces deux hypothèses sont, du reste, à peu près identiques. Elles reviennent toutes les deux à négliger la composante horizontale de la force à laquelle on doit résister. Nous les admettrons dans nos calculs, pour la raison que nous avons donnée plus haut, tout en faisant à cet égard les réserves les plus positives.

La première, en effet, serait assez admissible pour des constructions en pierre de taille, à joints horizontaux non découpés ; mais elle ne peut guère se justifier quand on a un mur construit en maçonnerie ordinaire, avec du mortier de chaux hydraulique. Un pareil ouvrage doit bien plutôt être comparé à un monolithe non homogène, qui fléchit sous l'action d'une force perpendiculaire à sa plus grande dimension.

Quant à la seconde, elle est moins admissible encore au point de vue théorique. Elle conduit, en effet, à cette conséquence contraire à la vérité, que quand une force serait dirigée dans un plan, son effet sur le plan serait nul. Il est bien clair cependant que si on fait agir dans une voûte une force dirigée suivant un des plans de joint, cette force aura une action, à cause de la solidarité des diverses parties de la voûte, et que les voussoirs tendront tous à être plus ou moins déformés par la flexion.

Nous reviendrons sur les conséquences de ces deux hypothèses, qui feront l'objet d'études spéciales, mais nous pouvons néanmoins les adopter par cette raison que nous n'aurons jamais affaire à des forces très-obliques, et que, par conséquent, les résultats seront suffisamment exacts dans les limites où l'on demande à la théorie de les indiquer (*).

(*) Dans les *Annales* de décembre 1869, M. l'ingénieur en chef Leblanc a déjà émis cette opinion que quand une force fait l'angle α avec la normale à un plan de joint, on doit supposer ce plan de joint soumis, non pas à la force $P \cos \alpha$, mais à la force $\frac{P}{\cos \alpha}$; cette nouvelle formule soulève une objection analogue à la première, puisque $\frac{P}{\cos \alpha}$ devient infini pour $\alpha = 90°$.

Dans un prochain mémoire nous proposerons et nous chercherons à établir une formule de la forme

$$P\left(\cos^2\alpha + \frac{4h^2 \sin^2\alpha}{a^2}\right),$$

Nous nous sommes proposé d'abord l'étude de la section minimum théorique, puis nous avons cherché les moyens de calculer rapidement cette section pour une espèce déterminée de matériaux. Nous avons ensuite indiqué de quelle manière on peut passer d'une section à une autre quand on veut changer la nature des matériaux employés. Les autres questions que nous avons été conduit à examiner ne sont en quelque sorte qu'accessoires.

Pour faciliter les écritures et le langage, nous ferons certaines conventions que nous indiquerons successivement.

Rappelons d'abord brièvement les conditions auxquelles doit satisfaire un mur qui supporte une poussée d'eau.

Conditions générales de résistance. — L'état d'un mur qui doit supporter une poussée d'eau est en quelque sorte double, selon qu'il est effectivement soumis à cette poussée ou bien qu'il y est soustrait, soit qu'il vienne d'être construit, soit que le bief d'amont soit vide pour une autre cause quelconque. Dans les deux cas il doit résister : d'où une double série de conditions. Nous appellerons les premières : *conditions de résistance à l'eau*, les autres : *conditions de résistance au poids.*

Les conditions de résistance au poids se réduisent à une seule. Il faut que le mur ne s'écrase pas sous son propre poids ou, pour parler plus exactement, il faut qu'en aucun point la pression ne devienne supérieure à un nombre donné et qui est une certaine fraction du coefficient d'écrasement.

D'une manière générale nous appelerons N la pression

---

dans laquelle, s'il s'agit par exemple d'un voussoir, a représente la dimension du voussoir comptée perpendiculairement à l'intrados, c'est-à-dire l'épaisseur de la voûte, et h l'épaisseur du voussoir, c'est-à-dire à peu près la dimension comptée suivant l'intrados.

en tonnes, par mètre carré, que l'on pense pouvoir faire supporter sans danger aux matériaux employés.

En outre, quand nous dirons qu'il faut donner à un mur une certaine section pour qu'il ne soit point écrasé, cela voudra dire simplement qu'avec cette section, en aucun point la pression ne sera supérieure à N. Le mot *écrasement* ne sera jamais pris dans le sens textuel, mais bien dans le sens conventionnel que nous venons d'indiquer.

Dans l'hypothèse que nous avons admise, où les murs sont considérés comme formés d'assises horizontales n'offrant aucune résistance à l'extension, les conditions de résistance à l'eau se réduisent à deux. Il faut, quand l'eau agit sur le mur, qu'il n'y ait pas glissement d'une assise sur l'autre et qu'en aucun point la pression ne soit supérieure à N.

Nous appelerons la première : *condition de résistance au glissement*, et la seconde : *condition de résistance à l'écrasement par l'eau.*

Nous avons donc, en somme, à satisfaire à trois conditions qui s'expriment par des inégalités :

Résistance à l'écrasement par le poids;

Résistance à l'écrasement par l'eau;

Résistance au glissement.

A ces trois conditions nécessaires s'en ajoute une autre qu'il faut s'efforcer de remplir autant que possible, c'est celle du minimum de section.

Quelles sont les indéterminés qu'on peut introduire dans la question?

Prenons pour axe des x une ligne horizontale passant par le sommet du mur, et pour axe des y une ligne idéale séparative de l'amont et de l'aval. Nous compterons les y positivement de haut en bas, nous appellerons x les abscisses de points situés à l'aval de l'axe des y et x_1 les abscisses des points situés à l'amont. En outre, nous regarderons les x comme positifs quand ils seront comptés dans le

sens OX, et les x_1 quand ils seront comptés dans le sens OX_1.

Nous prenons donc deux systèmes d'axes accolés l'un à l'autre.

La lettre D désignera toujours la densité des matériaux; celle de l'eau est supposée égale à 1.

N et D étant des nombres donnés et le mur devant satisfaire dans toutes les sections aux conditions ci-dessus énoncées, c'est-à-dire quel que soit y, si le profil de ce mur est formé à l'aval par une courbe $x = f(y)$ et à l'amont par une courbe $x_1 = f_1(y)$, on n'aura comme indéterminés que les deux fonctions f et f_1. Il faut, par suite, qu'une au moins des trois conditions reste à l'état d'inégalité satisfaite d'elle-même.

Le problème à résoudre est le suivant : déterminer les fonctions f et f_1 de manière que les trois conditions soient satisfaites, quel que soit y, et s'il existe plusieurs solutions, trouver celle qui conduit au profil minimum.

Division des murs relativement à la hauteur du plan d'eau et à la nature du sol. — Avant d'aller plus loin, il faut préciser les conditions dans lesquelles seront placés les murs que nous étudions, et pour cela nous les diviserons en trois cotégories :

1° Murs dont le couronnement doit être placé au niveau du plan d'eau amont;

2° Murs dont le couronnement peut se trouver placé notablement au-dessous du plan d'eau (*);

(*) Les murs dont le couronnement peut être supposé au niveau du plan d'eau sont ceux qui forment barrages dans les rivières larges et peu encaissées : en temps ordinaires, il ne passera sur le sommet seulement qu'une lame d'eau suffisamment mince pour que l'on puisse la négliger, et quand il y aura une crue sérieuse, le barrage sera généralement noyé à l'aval comme à l'amont, et par suite il ne supportera plus de pression.

Si, au contraire, on a à construire un barrage dans une rivière

3° Murs dont le couronnement doit être placé au-dessus du plan d'eau.

Ces distinctions seraient les seules à faire si le barrage était d'une hauteur indéfinie ; mais, comme il repose sur le sol, il faut introduire de nouvelles conditions dans le plan de base, et on est conduit, à ce point de vue, à séparer également les murs en trois catégories selon que le sol est incompressible et inaffouillable, ou bien qu'il est compressible mais inaffouillable, ou enfin à la fois compressible et affouillable (*).

Murs fondés sur un sol incompressible et inaffouillable et dont le couronnement est placé à la hauteur du plan d'eau. — Nous supposerons que chaque section du mur doive résister isolément, c'est-à dire que la réaction des points d'appui soit négligeable. En outre, nous n'avons pas à nous préoccuper de ce qui se passera dans le plan de base.

Nous appellerons d'une manière générale :

---

torrentielle, dont le profil en long présente des variations brusques, il pourra arriver que, par une forte crue, le barrage ne soit pas du tout noyé à l'aval, c'est-à dire que, dans ce cas, il supportera, à un moment donné, un accroissement de pression dû à une lame d'eau en mouvement, et dont l'épaisseur pourra atteindre une fraction notable de la hauteur. Ce cas s'est présenté pour nous en Corse.

La troisième division correspond aux murs de réservoir.

(*) Si le mur doit reposer sur un terrain compressible, il se produira un tassement pendant la construction même, et quand l'eau agira, un autre tassement qui tendra à faire tourner le mur autour d'un axe horizontal, la rotation ayant lieu de l'amont à l'aval. Il est donc probable que la situation définitive de la section ne sera pas identique à celle qu'on lui aura supposée pour faire le calcul, par suite il y aura lieu de voir quelle conséquence cela entraîne au point de vue des pressions.

Quand le terrain est affouillable, la nécessité de se raccorder avec le bief d'aval impose des conditions toutes nouvelles, on comprend donc la nécessité de cette nouvelle division.

A la surface de la section située à l'aval de l'axe des y;

A_1 la surface située à l'amont;

X l'abscisse du centre de gravité de A;

X_1 l'abscisse du centre de gravité de A_1;

P la composante verticale de la force, c'est-à-dire la somme du poids des maçonneries et de la composante verticale de la poussée de l'eau;

P_1 le poids des maçonneries.

Les pressions maximum seront alors données, dans le cas où le mur supporte la poussée de l'eau, par une des formules

$$(1) \qquad \frac{P}{\Omega}(1+3n),$$

$$(2) \qquad \frac{P}{\Omega}\times\frac{4}{3(1-n)},$$

en conservant à Ω et à n les significations qu'ont ces lettres dans les formules de M. Bresse (*Cours de l'École des ponts et chaussées*, 1re partie).

Dans le cas où le mur ne sera soumis qu'à son poids, les pressions maximum seront données par une des deux formules

$$(3) \qquad \frac{P_1}{\Omega}(1+3n_1),$$

$$(4) \qquad \frac{P_1}{\Omega}\times\frac{4}{3(1-n_1)}.$$

Au premier cas correspondra une courbe de pression que nous appellerons *courbe de pression de l'eau*, ou *première courbe de pression*. Dans le second cas, nous aurons une autre courbe de pression que nous appellerons *courbe de pression du poids*, ou *deuxième courbe de pression;*

n_1 est par rapport à cette seconde courbe ce que n est par rapport à la première.

Rappelons enfin que la formule (1) s'applique au cas où on a $n < \frac{1}{2}$ et la formule (2) au cas où on a $n < \frac{1}{3}$;

De même pour les formules (3) et (4).

Conditions de résistance au sommet du mur. — Ceci posé, cherchons comment se comportent, au sommet du mur, les trois conditions nécessaires que nous avons énoncées.

D'abord, il est clair que si le mur n'avait pas une épaisseur nulle en couronne, les trois conditions seraient remplies d'elles-mêmes. La section ne serait pas alors un minimum, dans les environs du sommet, et il y aurait lieu de la réduire (*). Il en résulte qu'au sommet le frottement sur une section située à une hauteur infiniment petite dy sera représenté, en négligeant la cohésion, par

$$D \times f \times (dx + dx_1)dy;$$

(f est le coefficient de frottement et dx_1 porte avec lui son signe conformément à nos conventions).

La condition de résistance au glissement s'exprimera par l'inégalité :

$$D \times f \times (dx + dx_1) \times dy > \frac{\overline{dy}^2}{2},$$

ou bien par :

$$\text{(5)} \qquad \text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta > \frac{1}{2fD},$$

en appelant α et β les angles que font avec l'axe des y les

(*) Si le mur avait en couronne une épaisseur a, le poids tendrait vers un infiniment petit du premier ordre, la poussée de l'eau vers un infiniment petit du deuxième ordre; la pression serait donc uniformément répartie et, par suite, la pression maximum tendrait vers zéro, c'est-à-dire que la condition de résistance à l'écrasement par l'eau serait satisfaite d'elle-même.

Un raisonnement analogue montrerait qu'il en est de même des deux autres conditions.

tangentes au sommet aux deux courbes $x = f(y)$ et $x_1 = f_1(y)$.

La condition de résistance au poids se trouve remplie d'elle-même si on repousse *à priori* les formes en surplomb comme incompatibles avec la pratique. Dans le cas, en effet où tg 6 a une valeur positive, le centre de gravité se projette toujours à l'intérieur de chaque section, de sorte que $\frac{1}{1-n_1}$ n'est jamais infini. Le facteur $\frac{P_1}{\Omega}$ étant infiniment petit, la pression sur l'arête amont restera toujours infiniment petite, c'est-à-dire que la condition sera remplie d'elle-même.

Un profil pour lequel on a tg $\beta > 0$ n'a donc à satisfaire au sommet qu'à deux conditions :

Résistance à l'écrasement par l'eau ;

Résistance au glissement.

Cherchons quel minimum peut atteindre ce profil, en ne tenant compte que de la première condition, sauf à vérifier ensuite si le résultat auquel on sera conduit est compatible avec la deuxième.

Soient OA, OB les tangentes au sommet aux deux courbes qui forment le profil [Pl. 19, *fig.* 1] (*), et soit AB une section faite à une hauteur infiniment petite, à laquelle le profil se confond avec ses tangentes.

Supposons que β restant constant, on fasse diminuer α. La surface du profil va diminuer. On aura donc le minimum de ce profil, pour une valeur déterminée de β, en donnant à α une valeur aussi petite que possible.

Si on construit la résultante totale de la poussée de l'eau et du poids des maçonneries, cette résultante coupera AB en un point qui sera situé entre A et B, si α est suffisamment grand, et qui se rapprochera de A si on fait

(*) Cette planche, commune à trois mémoires, a été publiée avec le précédent cahier (septembre).

diminuer α. Quelque rapproché que soit le point de A, la condition de résistance au poids sera toujours remplie, puisque $\frac{1}{1-n}$ ne sera pas infini, et que $\frac{P}{\Omega}$ est infiniment petit.

La valeur minimum de α, et par suite le minimum du profil pour une valeur déterminée de β, seront donc atteints quand cette résultante passera par le point A. Il est bien évident en effet que cette résultante ne doit pas rencontrer AB au delà du point A, car sans cela il y aurait renversement.

Déterminons cette valeur de α.

Le poids P_1 des maçonneries est égal à :

$$D \times \frac{AB \times OD}{2} = D\,[\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta]\,\frac{\overline{dy}^2}{2}.$$

La distance, au point A, de la verticale passant par le centre de gravité G du profil est :

$$AC + \frac{CD}{3} = \frac{AB}{2} + \frac{AD - \frac{AB}{2}}{3} = \frac{AB + AD}{3} = [2\,\text{tg}\,\alpha + \text{tg}\,\beta]\,\frac{dy}{3}.$$

Le moment du poids P_1 des maçonneries sera alors

$$D\,[\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta]\,[2\,\text{tang}\,.\alpha + \text{tang}\,\beta]\,\frac{\overline{dy}^3}{6}.$$

La poussée de l'eau se décompose en deux forces : une horizontale, que nous nommerons Q et une verticale Q_1 (Q sera toujours la composante horizontale de la poussée de l'eau).

La force Q_1 est appliquée au point G_1, centre de gravité du triangle OBE, et sa valeur est

$$Q_1 = \text{tang}\,\beta \times \frac{\overline{dy}^2}{2}.$$

Sa distance au point A est

$$AD + \frac{2DB}{3} = \left[\text{tang}\,\alpha + \frac{2}{3}\,\text{tang}\,\beta\right] dy;$$

son moment sera

$$\text{tang}.\beta[3\,\text{tang}\,\alpha + 2\,\text{tang}\,\beta]\,\frac{\overline{dy}^3}{6}.$$

Q a pour valeur $\frac{\overline{dy}^2}{2}$, et sa distance au point A étant $\frac{dy}{3}$, son moment est

$$\frac{\overline{dy}^3}{6}.$$

Écrivons que la somme des moments est nulle par rapport au point A. Nous aurons, eu égard aux signes des moments, et en divisant les deux membres de l'équation par $\frac{\overline{dy}^3}{6}$:

$$D(\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta)(2\,\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta) =$$
$$= 1 - \text{tang}\,\beta(3\,\text{tang}\,\alpha + 2\,\text{tang}\,\beta).$$

Ce qui peut s'écrire :

$$(5) \qquad 2D\,\text{tang}^2\,\alpha + 3(D+1)\,\text{tang}\,\alpha\,\text{tang}\,\beta + $$
$$+ (D+2)\,\text{tang}^2\,\beta = 1.$$

Ainsi que nous l'avons déjà dit, cette expression donne la valeur de α qui correspond au minimum de section pour une valeur déterminée de β.

En d'autres termes, elle exprime la relation qui doit exister entre α et β pour que le profil soit minimum tout en satisfaisant aux deux conditions de résistance à l'écrasement par l'eau et par le poids.

La section du profil est proportionnelle, au sommet, à $(\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta)$. Nous avons dès lors à chercher le minimum de $(\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta)$, α et β étant liés par l'équation (5).

En employant la méthode ordinaire pour déterminer ce minimum, on trouve :

(6) $$\text{tang}\,\beta = \frac{3 - D}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}},$$

(7) $$\text{tang}\,\alpha = \frac{D - 1}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}},$$

(8) $$\text{tg}\,\alpha + \text{tg}\,\beta = \frac{2}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}}.$$

Tant que D est compris entre 1 et 3, les valeurs que nous venons de trouver pour tang α et tang β sont positives. Elles sont donc acceptables.

Si D était plus petit que 1, le profil serait en surplomb vers l'aval, et si D était plus grand que 3, il serait en surplomb vers l'amont. On se trouverait donc dans des conditions qui ne seraient pas acceptables, et les valeurs de tang α et tang β ne pourraient pas servir.

Si nous supposons D compris entre 1 et 3, il nous reste à vérifier si la condition de résistance au glissement est remplie. Cette condition peut s'écrire :

$$\text{tang}\,\alpha + \text{tang}\,\beta > \frac{1}{2fD}.$$

Si nous mettons pour tang α + tang β la valeur trouvée ci-dessus, on a

(9) $$f^2 > \frac{D^2 + 2D + 9}{16D^2}.$$

Le second membre est d'autant plus grand que D est plus petit. Si donc l'inégalité est satisfaite par la plus petite valeur de D, elle le sera à plus forte raison pour toutes les autres. Cette plus petite valeur peut-être prise égale à 2, ce qui donne

$$f > 0,515,$$

inégalité toujours satisfaite.

Ainsi donc tant que D sera compris entre 1 et 3, les valeurs trouvées pour tang α et tang β satisferont à toutes les conditions, et rendront le profil minimum. Il est démontré par là qu'il n'est pas exact, au moins dans les environs du sommet, de dire que l'on arrive au profil minimum avec un parement vertical à l'amont. On peut du reste s'en convaincre en faisant $\beta = 0$ dans l'équation (5). La valeur que l'on obtient pour tang α est égale à $\sqrt{\frac{1}{2D}}$, or l'inégalité

$$\frac{2}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}} < \sqrt{\frac{1}{2D}}$$

revient à la suivante :

$$0 < (D - 3)^2,$$

laquelle est toujours satisfaite, ce qui est une simple vérification.

Si D était plus petit que 1, il faudrait faire $\alpha = 0$ pour ne pas avoir de formes en surplomb. La valeur correspondante de tang β sera $\sqrt{\frac{1}{D+2}}$.

Dans un profil de cette nature, le parement étant vertical à l'aval, toutes les maçonneries seraient à l'amont. Nous le nommerons donc *profil amont.*

Si D était plus grand que 3, il faudrait faire $\beta = 0$; tang α serait égal à $\sqrt{\frac{1}{2D}}$, et le profil serait ce que nous nommerons un *profil aval.*

Un profil mixte sera celui dans lequel α et β ne seront nuls ni l'un ni l'autre.

On peut résumer ainsi qu'il suit les points acquis à la discussion, en ne parlant; bien entendu, que des propriétés au sommet :

1° Le profil a nécessairement une épaisseur nulle en couronne.

2° La condition de résistance à l'écrasement par le poids est toujours satisfaite d'elle-même si tang β est positif, ce qui sera toujours vrai si on proscrit les formes en surplomb.

3° Étant admis que les formes en surplomb ne seront pas employées, la condition de résistance à l'écrasement par l'eau sera satisfaite si α et β sont liés par l'équation (5), et le profil sera minimum quand on donnera à tang α et à tang β les valeurs que nous avons trouvées plus haut, tant que D sera compris entre 1 et 3.

4° Quand D sera plus petit que 1, il faudra adopter le profil amont. Quand D sera plus grand que 3, il faudra prendre le profil aval (*).

5° Quel que soit le profil adopté, la tangente au sommet n'est fonction que de D et nullement de N. La densité a donc une influence prépondérante sur la forme terminale du profil ; il en résulte que les profils varient peu de surface dans les environs du sommet, parce que la quantité $\frac{2}{\sqrt{D^2+2D+9}}$, ne varie que de $\frac{1}{2,1}$ à $\frac{1}{2,6}$, quand D varie 1,8 à 2,5, ce qui est à peu près la plus grande variation possible de D.

On tire de là une conséquence pratique qui est la suivante :

Quand on a à construire un barrage peu élevé, il faut surtout se préoccuper de se procurer des matériaux très-denses.

Équations générales du profil. — Jusqu'ici nous n'avons parlé que des propriétés des profils au sommet. Il faut maintenant passer au cas général, et c'est ce que nous allons faire ; mais nous rappellerons une fois encore que

(*) A partir de ce moment nous ne reparlerons plus du profil amont, qui ne convient qu'au cas inadmissible de D < 1.

nous ne nous occupons pour le moment que de la condition de résistance à l'écrasement par l'eau, parce que les deux autres commencent par être satisfaites d'elles-mêmes, sauf à vérifier à quel moment cela cesse d'être vrai.

Du moment que nous n'avons plus à remplir qu'une seule condition, nous pouvons introduire entre les indéterminés x et x_1 une seconde relation exprimant le minimum de la surface, si toutefois le problème est susceptible d'une solution réelle.

Il semble donc *à priori* qu'il ne soit pas exact d'admettre d'une manière générale, comme on l'a fait jusqu'ici, qu'on arrive au profil minimum avec un parement vertical à l'amont. Nous avons du reste établi que c'était absolument faux pour les très-petites hauteurs.

Pression sur l'arête aval. — Nous allons établir la relation qui exprime que la pression est N sur l'arête aval.

Soient OB, OB_1 les deux courbes (*fig.* 2) qui forment le profil, BDB_1 une section horizontale quelconque. Soient G, G_1, les centres de gravité des surfaces OBD, OB_1D (A et A_1 d'après nos notations).

Le poids des maçonneries se compose de deux forces DA et DA_1 appliquées en G et G_1.

La composante verticale de la poussée de l'eau est une force égale au poids de l'eau contenue dans l'espace OB_1F et appliquée en G_2, centre de gravité de cette surface.

La force verticale appliquée en G_1 peut s'écrire $(D-1)A_1 + A_1$. Celle qui est appliquée en G_2 est : $x_1y - A_1$. Si nous combinons les deux forces verticales A_1 et $x_1y - A_1$, nous aurons une force x_1y appliquée au point G_3, centre de gravité du rectangle DOB_1F. Nous avons donc trois forces verticales : DA appliquée en G ; $(D-1)A_1$, appliquée en G_1, et x_1y appliquée en G_3.

Ce que nous avons appelé P sera :

$$P = DA + (D-1)A_1 + x_1y.$$

Ces trois forces peuvent se composer en une seule IT, située à une distance λ de l'axe des y, donnée par la relation :

$$\lambda P = DAX - (D - 1)A_1X_1 - \frac{x_1^2 y}{2}.$$

λ peut être positif ou négatif. Supposons-le positif.

La composante horizontale est $Q = \frac{y^2}{2}$, et est appliquée au point E, qui est le tiers de OD.

Si nous composons P et Q, nous aurons la résultante totale. Soit IL cette résultante.

Le triangle ILT donne $LT = \frac{y^3}{6P}$.

D'autre part, on a $x - \lambda - LT = BL$.

Si λ était négatif on aurait $BL = x + \lambda - LT$, et en affectant λ de son signe, on retomberait sur la même valeur. La formule sera donc générale.

Or on sait par définition que $n = \frac{CL}{BC}$ (C étant le centre de BB_1). Donc

$$n = 1 - \frac{2}{x + x_1}(x - \lambda - LT).$$

Si on met pour n sa valeur dans la formule $\frac{P}{\Omega} \times \frac{4}{3(1-n)}$, on doit avoir

$$N = \frac{2}{3} \times \frac{P}{x - \lambda - LT}.$$

Si on appelle α l'abscisse de la courbe de pression, on a

$$\alpha = \lambda + LT;$$

il en résulte

(10) $$N = \frac{2}{3} \times \frac{P}{x - \alpha},$$

qui sera l'équation de la courbe de pression.

Si dans l'équation précédente on met pour λ et LT leurs valeurs, il vient :

$$(11)\quad N = \frac{2}{3} \cdot \frac{P^2}{Px - DAX + (D-1)A_1X_1 + \frac{x_1^2 y}{2} - \frac{y^3}{6}},$$

Telle est la relation qui doit exister entre x et x_1 pour que la pression soit toujours N sur l'arête aval, et qui peut être considérée comme l'équation d'une des deux courbes, si l'autre est connue.

Nous pensons que cette relation ne peut pas être mise sous forme finie. En tous cas nous n'avons pas su le faire. Heureusement il n'en est pas besoin, et si les calculs auxquels nous allons être entraînés paraissent compliqués, les résultats sont simples, et c'est cela seul qui importe. Supposons x et x_1 développés en série par la formule de Mac Laurin, pour simplifier l'écriture, nous ferons la convention qu'au lieu de représenter les dérivées successives de x et de x_1 par rapport à y, par $\frac{dx}{dy}, \frac{d^2x}{dy^2} \dots, \frac{dx_1}{dy}, \frac{d^2x_1}{dy^2}$, etc., nous les écrirons simplement dx, d^2x,... dx_1, d^2x_1,...

On aura :

$$x = ydx + y^2 \times \frac{d^2x}{1.2} + y^3 \times \frac{d^3x}{1.2.3} + \dots\dots$$

$$x_1 = ydx_1 + y^2 \times \frac{d^2x_1}{1.2} + y^3 \times \frac{d^3x_1}{1.2.3} + \dots\dots$$

$$A + A_1 = \frac{y^2}{1.2}(dx + dx_1) + \frac{y^3}{1.2.3}(d^2x + d^2x_1) + \\ + \frac{y^4}{1.2.3.4}(d^3x + d^3x_1) + \dots\dots$$

(Bien entendu, dans ces expressions, les dérivées successives de x et de x_1 devraient être affectées de l'indice o, pour montrer qu'elles correspondent à $y = 0$.)

Si on arrête les développements de x et de x_1 au $n^{ième}$ terme, on aura $2n$ dérivées inconnues entre lesquelles il

existe n relations, que l'on peut obtenir en différentiant n fois l'équation (11).

Différentions l'équation (11), par rapport à y après avoir chassé le dénominateur, et en remarquant que la dérivée de A est x, celle de A_1, x_1, celle de AX, $\frac{1}{2}x^2$, et celle de A_1X_1 $\frac{1}{2}x_1^2$; on a

(γ)

$$(1)\quad Px - DAX + (D-1)A_1X_1 + \frac{x_1^2 y}{2} - \frac{y^3}{6} = \frac{2}{3N}P^2;$$

$$(2)\quad P'x + Pdx - \frac{Dx^2}{2} + \frac{Dx_1^2}{2} + yx_1dx_1 - \frac{y^2}{2} = \frac{4}{3n}PP';$$

$$\begin{aligned}(3)\quad & P''x + 2P'dx + Pd^2x - Dxdx + (D+1)x_1dx_1 + y\overline{dx_1}^2 + \\ & + yx_1d^2x_1 - y = \frac{4}{3N}(PP'' + P'^2);\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(4)\quad & P'''x + 3P''dx + 3P'd^2x + Pd^3x - Dxd^2x - D\overline{dx}^2 + \\ & + (D+2)x_1d^2x_1 + (D+2)\overline{dx_1}^2 + 3ydx_1d^2x_1 + \\ & + yx_1d^3x_1 - 1 = \frac{4}{3N}[PP''' + 3P'P''];\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(5)\quad & P^{iv}x + 4P'''dx + 6P''d^2x + 4P'd^3x + Pd^4x - Dxd^3x - \\ & - 3Ddxd^2x + (D+3)x_1d^3x_1 + 3(D+3)dx_1d^2x_1 + \\ & + 4ydx_1d^3x_1 + yx_1d^4x_1 = \frac{4}{3N}[PP^{iv} + 4P'P''' + 3P''^2];\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(6)\quad & P^{v}x + 5P^{iv}dx + 10P'''d^2x + 10P''d^3x + 5P'd^4x + Pd^5x - \\ & - 4Ddxd^3x - Dxd^4x - 3D\overline{d^2x}^2 + [D+4]x_1d^4x_1 + \\ & + 4(D+4)dx_1d^3x_1 + 3(D+4)\overline{d^2x_1}^2 + 10yd^2x_1d^3x_1 + \\ & + 5ydx_1d^4x_1 + yx_1d^5x_1 = \frac{4}{3N}[PP^{v} + 5P'P^{iv} + 10P''P'''];\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(7)\quad & P^{vi}x + 6P^{v}dx + 15P^{iv}d^2x + 20P'''d^3x + 15P''d^4x + \\ & + 6P'd^5x + Pd^6x - 10Dd^2xd^3x - 5Ddxd^4x - Dxd^5x + \\ & + 5(D+5)dx_1d^4x_1 + (D+5)x_1d^5x_1 + 10(D+ \\ & 5)d^2x_1d^3x_1 + 10y\overline{d^3x_1}^2 + 15yd^2x_1d^4x_1 + 6ydx_1d^5x_1 + \\ & + yx_1d^6x_1 = \frac{4}{3N}[PP^{vi} + 6P'P^{v} + 15P''P^{iv} + 10P'''^2].\end{aligned}$$

A ces équations il faut joindre les suivantes :

$$\varepsilon \left\{ \begin{array}{l} P \;= DA + (D-1)A_1 + x_1 y; \\ P' = Dx + Dx_1 + y dx_1; \\ P'' = Ddx + (D+1)dx_1 + y d^2 x_1; \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ P^{m+1} = Dd^m x + (D+m)d^m x_1 + y d^{m+1} x_1. \end{array} \right.$$

Nous demanderons de nouveau qu'on ne s'effraye pas de ces équations, dont nous ne nous servirons que très-peu, et encore des premières seulement.

Si on fait $y = 0$ dans ces équations, les trois premières donnent $0 = 0$; à partir de la quatrième, l'indétermination disparaît et on a :

$$\gamma' \quad (4) \quad dx\Big(4Ddx + 3(D+1)dx_1\Big) + dx_1\Big(3(D+1)dx + 2(D+2)dx_1\Big) = 2.$$

$$(5) \quad d^2x\Big(7Ddx + 6(D+1)dx_1\Big) + d^2x_1\Big(4(D+2)dx + 3(D+3)dx_1\Big) = \frac{4}{3N} \times 3\Big(Ddx + (D+1)dx_1\Big)^2.$$

$$(6) \quad d^3x\Big(11Ddx + 10(D+1)dx_1\Big) + d^3x_1\Big(5(D+3)dx + 4(D+4)dx_1\Big) + \frac{1}{2}d^2x\Big(14Dd^2x + 10(D+2)d^2x_1\Big) + \frac{1}{2}d^2x_1\Big(10(D+2)d^2x + 6(D+4)d^2x_1\Big) = \frac{4}{3N} \times 10\Big(Ddx + (D+1)dx_1\Big)\Big(Dd^2x + (D+2)d^2x_1\Big).$$

$$(7) \quad d^4x\Big(16Ddx + 15(D+1)dx_1\Big) + d^4x_1\Big(6(D+4)dx + 5(D+5)dx_1\Big) + d^3x\Big(25Dd^2x + 20(D+2)d^2x_1\Big) + d^3x_1\Big(15(D+3)d^2x + 10(D+5)d^2x_1\Big) = \frac{4}{3N}\Big[15\Big(Ddx + (D+1)dx_1\Big)\Big(Dd^3x + (D+3)d^3x_1\Big) + 10\Big(Dd^2x + \overline{(D+2)d^2x_1}\Big)^2\Big].$$

$$(8) \quad d^5x\Big(22Ddx + 21(D+1)dx_1\Big) + d^5x_1\Big(7(D+5)dx + 6(D+6)dx_1\Big) + d^4x\Big(41Dd^2x + 35(D+2)d^2x_1\Big) + d^4x_1\Big(21(D+4)d^2x + 15(D+6)d^2x_1\Big) + d^3x\Big(25Dd^3x + 20(D+3)d^3x_1\Big) + d^3x_1\Big(25(D+3)d^3x + 10(D+6)d^3x_1\Big) = \frac{4}{3N}\Big[21\Big(Ddx + (D+1)dx_1\Big)\Big(Dd^4x + (D+4)d^4x_1\Big) + 35\Big(Dd^2x + (D+2)d^2x_1\Big)\Big(Dd^3x + (D+3)d^3x_1\Big)\Big].$$

(Toutes les dérivées successives doivent ici avoir l'indice

0 ; ce sont ces quantités qui entrent dans les valeurs de x et x_1).

Remarquons tout de suite que la première de ces équations n'est autre chose que l'équation déjà trouvée directement :

$$2D \tan^2 \alpha + 3(D+1) \tan \alpha \tan \beta + (D+2) \tan^2 \beta = 1,$$

Ce qui est une vérification.

En outre, si on donne à dx et à dx_1 deux valeurs compatibles avec l'équation γ_1^0, et si on les porte dans l'équation γ_2^0, celle-ci ne contient plus que d^2x et d^2x_1, et cela au premier degré; et ainsi de suite pour toutes les autres équations.

Nous ferons remarquer en passant que la loi de formation se dégage déjà :

Les coefficients dépendants de D sont des plus simples, et les coefficients numériques sont des nombres compris dans les formules :

$\frac{m(m-1)}{1.2}+1$; $\frac{m(m-1)}{1.2}$; série naturelle des nombres; idem;

$\frac{m(m-1)(m-2)}{1.2.3}+(m-1)$; $\frac{m(m-1)(m-2)}{1.2.3}$...... etc....

Du reste, cela n'a qu'un intérêt purement théorique.

L'équation γ_1^0 donne toujours pour dx une valeur réelle, quelle que soit la valeur adoptée pour dx_1 et réciproquement. Si en effet on résout par rapport à dx, la quantité sous le radical est

$$(D^2+2D+9)\overline{dx}_1^2+8D,$$

quantité qui est toujours positive.

On peut donc prendre arbitrairement $dx+dx_1$. L'équation γ^0_2 étant du premier degré en d^2x et d^2x_1, on pourra de même prendre $d^2x+d^2x_1$ arbitrairement, et ainsi de suite.

Autrement dit, on pourra écrire que la section $A + A_1$ est une fonction arbitraire de y, qui n'est soumise qu'à une seule restriction, à savoir, que le coefficient du terme en $\frac{y^2}{2}$, qui est $dx + dx_1$, ne peut être inférieur à une limite que nous avons trouvé être $\frac{2}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}}$.

Supposons qu'on donne à $dx + dx_1$ cette valeur, et qu'on pose en outre $d^2x + d^2x_1 = 0$ $d^3x + d^3x_1 = 0$, etc., on aura $A + A_1 = \frac{y^2}{2} \times \frac{2}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}}$.

Or le profil aval aurait pour surface $\frac{y^2}{2} \times \sqrt{\frac{1}{2D}} + \varphi(y)$, ($\varphi(y)$ étant une fonction de y qui sera déterminée plus loin).

Il est donc établi que le profil mixte sera plus petit que le profil aval, puisque déjà $\frac{2}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}}$ est plus petit que $\sqrt{\frac{1}{2D}}$.

Avec les hypothèses que nous venons de faire, on voit que $A + A_1$ devient indépendant de N, et le profil serait formé de deux courbes OC et OD (*fig.* 3), telles que, dans une section quelconque, on ait $AC = BD$.

OA et OB, qui sont les tangentes au sommet, sont d'ailleurs déterminées par $\operatorname{tg} \alpha = \frac{D - 1}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}}$ et $\operatorname{tg} \beta = \frac{3 - D}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}}$. Il en résulte cette conséquence assez remarquable, à savoir que si l'on a un profil tel que l'arête aval supporte en tous ses points la pression N, on pourra en obtenir un autre, de *même surface*, dans lequel la pression sur l'arête aval deviendra N_1, et cela par une simple

translation horizontale des diverses sections, qui conserveront toutes leurs mêmes grandeurs.

Si l'on examine les équations γ^0 et qu'on cherche à déterminer d^2x, d^3x... au moyen de ces équations, et des équations $d^2x + d^2x = 0$, $d^3x + d^3x_1 = 0$..., etc..., on voit aisément que les valeurs de d^2x, d^3x, etc., vont contenir, en dénominateur, les puissances successives de N.

Par suite, si l'on part des tangentes OA, OB, qui constituent le profil correspondant à $N = \infty$, on voit que pour que la pression devienne $N = p$ sur l'arête aval, il faudra déplacer horizontalement les sections vers l'aval, et cela d'autant plus rapidement que p sera plus petit.

D'autre part, les valeurs de tg α et tg β montrent qu'à mesure que D diminue tg α diminue et tg β augmente.

Les rôles que jouent la densité et la résistance à l'écrasement sont dès lors nettement indiqués.

N et D sont des quantités qui ne sont pas liées par une loi physique; néanmoins elles varient généralement dans le même sens. Si D, par exemple, diminue, N diminuera probablement. Or quand D diminuera à la partie supérieure du mur, les maçonneries tendront à être rejetées vers l'amont, mais aussi, par suite de la diminution de N, la déformation vers l'aval sera plus rapide.

Au lieu de supposer $d^2x + d^2x_1 = 0$ $d^3x + d^3x_1 = 0$, etc., on pourrait écrire que ces sommes sont égales à des nombres négatifs $-q^2$, $-q^2{}_1$, etc.

Dans ce cas, la somme $A + A_1$ serait d'autant plus petite que les nombres $-q^2$, $-q^2{}_1$, etc., seraient plus grands en valeur absolue. Il semblerait donc qu'on peut rendre le profil aussi petit que l'on veut. Il n'en est rien, bien entendu, et l'on en voit la raison en examinant les équations (γ^0).

Si dans l'équation $\gamma^0{}_2$ on met pour dx et dx_1 les valeurs qui rendent minimum $dx + dx_1$ et qui sont $\dfrac{D - 1}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}}$

et $\frac{3-D}{\sqrt{D^2+2D+9}}$, on a en posant $K=\sqrt{D^2+2D+9}$:

$$(D^2+5D+18)d^2x+(D^2+4D+19)d^2x_1=\frac{4(D+3)^2}{NK},$$

et si l'on ajoute à cette équation $d^2x+d^2x_1=-q^2$, il vient :

$$-(D-1)d^2x_1=\frac{4(D+3)^2}{NK}+(D^2+5D+18)q^2.$$

Comme nous avons admis que les formes en surplomb n'étaient pas admissibles, et que comme conséquence il faut que D soit compris entre 1 et 3 pour que le profil mixte puisse être adopté, d^2x_1 sera négatif et d'autant plus grand en valeur absolue, toutes choses égales d'ailleurs, que q^2 sera plus grand.

L'équation $(\gamma^0{}_3)$ donnerait un résultat analogue pour d^2x_1, etc.

La déformation vers l'amont est donc d'autant plus rapide, toutes choses égales d'ailleurs, que l'on veut rendre la section du profil plus petite. Alors on arriverait à des formes pour lesquelles la condition de résistance au poids ne serait plus remplie, et avant cela même on rencontrerait un point où la courbe amont aurait une tangente verticale, et passé ce point, on retomberait dans des formes en surplomb incompatibles avec la pratique.

Mais néanmoins jusqu'à une certaine hauteur le profil sera toujours admissible, quelles que soient les valeurs des nombres q^2, q^2_1, etc.

Ceci démontre qu'il est complétement inexact de dire que l'on a le profil minimum avec un parement vertical à l'amont, et qu'il existe toujours un profil mixte plus petit, qui est admissible jusqu'à une certaine hauteur finie et non pas nulle.

Détermination du profil à adopter. — Si l'on est obligé

d'arriver à une hauteur déterminée H. on sera obligé d'écrire que la tangente à la courbe amont est verticale pour $y=H$. Si l'on cherche à déterminer le profil minimum en tenant compte de cette nouvelle condition, on n'aura plus un profil minimum pour toutes les hauteurs, il ne sera minimum que pour $y = H$. En outre, on n'aura pas un minimum absolu. On n'aura qu'un minimum relatif, compatible avec les conditions imposées par la pratique.

On voit aisément que cette condition que la tangente soit verticale pour $y = H$ tend, à mesure que H augmente, à rapprocher la courbe amont d'une droite verticale, c'est-à-dire que le profil mixte tendra à se rapprocher du profil aval.

Ainsi donc les conditions de la pratique font que le profil mixte, qui est théoriquement beaucoup plus avantageux que le profil aval, tend à s'en rapprocher à mesure que la hauteur augmente.

Si S est la section d'un profil aval, S_1 celle d'un profil mixte de même hauteur, le rapport $\frac{S - S_1}{S} = 1 - \frac{S_1}{S}$ se rapproche donc de zéro quand H augmente, et il sera maximum quand H tendra vers zéro.

Or, quand H tend vers zéro, la limite de ce rapport est donnée par : $1 - \frac{\frac{2}{\sqrt{D^2 + 2D + 9}}}{\sqrt{\frac{1}{2D}}}$. Si l'on suppose que D soit égal à 2, ce qui est à peu près sa valeur moyenne, le rapport devient $1 - \frac{4}{\sqrt{17}} = 0,029$.

Ainsi donc, le bénéfice qu'il y aurait à se servir d'un profil ayant un fruit à l'amont est inférieur aux $\frac{3}{100}$ de la surface du profil aval.

Sur les murs de peu de hauteur cette différence est insi-

gnifiante. D'un autre côté, nous avons vérifié que dès que H atteint 10 mètres, le rapport $\frac{S - S_1}{S}$ prend une valeur tellement petite que la différence $S - S_1$ ne vaut pas la peine qu'on s'en occupe.

Nous sommes donc conduits au profil aval, non pas parce qu'il correspond au minimum, comme on l'admet généralement, mais parce qu'il n'en est pas suffisamment éloigné pour faire renoncer aux autres avantages qu'il présente.

Ce que nous venons de dire jusqu'à présent, sur la section des profils, peut, en quelque sorte, être considéré comme théorique, mais nous avons pensé que cette petite étude n'était pas inutile pour bien se pénétrer des rôles que jouent les divers éléments dont se compose un profil.

Nous allons maintenant nous occuper exclusivement du profil que nous avons appelé *profil aval.*

PROFIL AVAL.

Sans vouloir refaire l'historique des diverses méthodes qui ont été successivement employées pour calculer de semblables profils, nous rappellerons que le mémoire de M. Delocre sur le barrage du Furens, et qui est le dernier dont nous ayons connaissance sur cette question, peut être considéré comme donnant un procédé beaucoup plus simple que ceux qui étaient employés jusque-là.

On a vu néanmoins que nous sommes en désaccord avec cet ingénieur sur le point de départ, puisqu'il admet que le profil aval est théoriquement le plus petit.

Le procédé employé par M. Delocre conduit encore à des calculs assez compliqués, qui ont en outre, si nous avons bien saisi sa méthode, un double inconvénient. D'abord on est obligé de vérifier presque constamment si n et n_1 sont plus grands ou plus petits que 1/3. De plus, les calculs,

une fois faits avec des valeurs déterminées de D et de N, ne peuvent pas servir si on fait varier D et N.

Notre but est de calculer un profil par une méthode qui n'ait pas besoin de recourir aux tâtonnements indiqués, et, en outre, qui permette de déduire *tous les profils* de l'un d'eux une fois calculé.

Division du mur en quatre zones. — Nous avons dit plus haut qu'avec un profil ayant un parement vertical à l'amont, la condition de résistance au poids sera toujours satisfaite d'elle-même pendant un certain temps, et que n commencera par être plus grand que 1/3. On commencera donc le calcul du mur avec une formule de la forme $\frac{P}{\Omega} \times \frac{4}{3(1-n)}$.

A mesure qu'on augmentera la hauteur, si on suppose le mur soustrait à l'action de l'eau, la pression sur l'arête amont, nulle au sommet, augmentera jusqu'en un point où elle deviendra égale à N. Nous nommerons *section d'écrasement* la section dans laquelle cela arrivera.

On atteindra cette section avant que n soit devenu plus petit que 1/3. En effet, dans cette section, on a : $n = n_1$, puisque d'après la verticalité du parement amont, on a : $P = P_1$. Or, X étant l'abcisse du centre de gravité, on a :

$$n_1 = 1 - \frac{2X}{x}.$$

La courbe aval sera convexe vers les y positifs, et comme on aurait $\frac{X}{x} = \frac{1}{3}$ si la courbe était une ligne droite, on aura ici $\frac{X}{x} < \frac{1}{3}$. Il en résulte $n_1 > \frac{1}{3}$ et $n > \frac{1}{3}$.

Le profil se compose donc d'une première zone dans laquelle le parement est constamment vertical à l'amont. Dans cette zone, la condition de résistance au poids est remplie d'elle-même et la pression maximum due à l'eau,

sur l'arête aval, se calculera toujours par la formule $\frac{P}{\Omega} \times \frac{4}{3(1-n)}$.

Si on veut augmenter la hauteur du mur, il faudra se mettre en courbe à l'amont, et le profil deviendra un profil mixte; mais nous lui conserverons le nom de profil aval, pour le distinguer des profils où on se met en courbe à l'amont avant d'y être forcé; n et u_1 vont continuer à être plus petits que $\frac{1}{3}$ jusqu'à une certaine section où n prendra la valeur $\frac{1}{3}$, et que nous appellerons *première section de passage.* Il est clair que n deviendra égal à $\frac{1}{3}$ avant n_1, puisque P étant plus grand que P_1, on doit avoir $n_1 > n$, pour que, dans les deux cas, la pression maximum soit N.

Nous avons donc une seconde zone dans laquelle nous serons en courbe à l'aval et à l'amont, mais dans laquelle les pressions maximum se calculeront par deux formules de même forme:

$$\frac{P}{\Omega} \cdot \frac{4}{3(1-n)}; \quad \frac{P_1}{\Omega} \cdot \frac{4}{3(1-n_1)} \cdots\cdots$$

Si on augmente encore la hauteur, n devient plus petit que $\frac{1}{3}$; mais n_1 reste plus grand que $\frac{1}{3}$, jusqu'à une certaine section que nous nommerons *deuxième section de passage*, où n_1 prendra à son tour la valeur de $\frac{1}{3}$. D'où une troisième zone où on calculera la pression maximum sur l'arête aval par la formule $\frac{P}{\Omega} \times (1 + 3n)$, et la pression maximum sur l'arête amont par la formule $\frac{P_1}{\Omega} \times \frac{4}{3(1-n_1)}$.

Puis n_1, deviendra à son tour plus petit que $\frac{1}{3}$, et on aura

une quatrième zone dans laquelle les pressions maximum se calculeront par les deux formules $\frac{P}{\Omega}(1+3n)$ $\frac{P_1}{\Omega}(1+3n_1)$.

Si donc nous déterminons *à priori* la section d'écrasement et les deux sections de passage, nous aurons fait disparaître toute indétermination dans l'emploi des formules.

Calcul de la première zone comprise entre le sommet et la section d'écrasement.

Équation de la courbe aval. — Si dans les équations (γ), nous supposons x_1 nul, ainsi que ses dérivées successives, nous aurons les formules qui correspondent au cas du parement amont vertical, et que nous appellerons équations δ.

Si ensuite on fait $y = 0$, on à la série δ^0, qui donne les dérivées successives de x prises pour la valeur $y = 0$.

Ces équations sont :

$$\left\{\begin{aligned}
&dx = \sqrt{\frac{1}{2D}},\\
&7d^2xdx = \frac{4D}{3N} \times 3dx \times dx,\\
&11d^3xdx + 7d^2x \times d^2x = \frac{4D}{3N} \times 10d^2xdx,\\
&16d^4xdx + 29d^3xd^2x = \frac{4D}{3N}(15d^3xdx + 10d^2xd^2x),\\
&22d^5xdx + 41d^4xd^2x + 29d^3x \times d^3x = \frac{4D}{3N}(21d^4xdx + \\
&\qquad + 35d^3xd^2x),\\
&29d^6xdx + 63d^5xd^2x + 91d^4xd^3x = \frac{4D}{3N}(28d^5xdx + \\
&\qquad 56d^4xd^2x + 35d^3xd^3x),
\end{aligned}\right.$$

. . . .

. . . .

Ces équations peuvent s'écrire :

$$
\delta^{\circ} \quad \left\{
\begin{aligned}
dx &= \sqrt{\frac{1}{2D}}, \\
7d^2x &= \frac{4D}{N}\,dx, \\
11d^3x &= \frac{28}{3}\cdot\frac{D}{N}\,d^2x, \\
16d^4x &= \frac{720}{49}\cdot\frac{D}{N}\,d^3x, \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned}
\right.
$$

ou bien encore :

$$
(\delta^{\circ}) \quad \left\{
\begin{aligned}
dx &= \sqrt{\frac{1}{2D}}, \\
d^2x &= \frac{4}{7}\cdot\frac{D}{N}\sqrt{\frac{1}{2D}}, \\
d^3x &= \frac{16}{33}\cdot\frac{D^2}{N^2}\sqrt{\frac{1}{2D}}, \\
d^4x &= \frac{15\times 16}{11\times 49}\times\frac{D^3}{N^3}\sqrt{\frac{1}{2D}}. \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned}
\right.
$$

ou enfin :

$$
\delta^{\circ} \quad \left\{
\begin{aligned}
dx &= \sqrt{\frac{1}{2D}} & &\text{et} & dx &= \sqrt{\frac{1}{2D}}, \\
d^2x &= 0{,}571428\,\frac{D}{N}\sqrt{\frac{1}{2D}} & &\ldots\ldots & \frac{d^2x}{1.2} &= 0{,}285714\,\frac{D}{N}\sqrt{\frac{1}{2D}}, \\
d^3x &= 0{,}484848\ldots\frac{D^2}{N^2}\sqrt{\frac{1}{2D}} & &\ldots\ldots & \frac{d^3x}{1.2.3} &= 0{,}080808.\frac{D^2}{N^2}\sqrt{\frac{1}{2D}}, \\
d^4x &= 0{,}44526\,\frac{D^3}{N^3}\sqrt{\frac{1}{2D}} & &\ldots\ldots & \frac{d^4x}{1.2.3.4} &= 0{,}01856.\frac{D^3}{N^3}\sqrt{\frac{1}{2D}}, \\
d^5x &= 0{,}1218\,\frac{D^4}{N^4}\sqrt{\frac{1}{2D}} & &\ldots\ldots & \frac{d^5x}{1.2.3.4.5} &= 0{,}0010.\frac{D^4}{N^4}\sqrt{\frac{1}{2D}}.
\end{aligned}
\right.
$$

Ce qui donne numériquement le développement de x en fonction de y, et cela pour toutes les valeurs de D et de N.

L'équation de la courbe aval est donc déterminée pour des valeurs quelconque de D et de N.

Loi de formation des dérivées successives. — On voit que dans les équations que nous venons d'écrire, on a :

$$d^m x = \frac{D}{N} \times d^{m-1} x \times c.$$

ou ce qui revient au même :

$$d^m x = \left(\frac{D}{N}\right)^{m-1} \times dx \times c_1;$$

c et c_1 étant des constantes indépendantes de D et de N.

Cette loi est générale, et il est facile de le montrer.

Si on se reporte à l'équation générale (γ) qui donne N, on voit qu'elle devient :

$$(\delta) \qquad N = \frac{2}{3} D \frac{A^2}{Ax - AX - \frac{y^3}{6D}}.$$

(On se rappelle que A est la surface des maçonneries situées à l'aval, c'est-à-dire, dans ce cas, la surface totale.)

Si on dérive deux fois après avoir chassé le dénominateur, on a :

$$Adx + x^2 - \frac{x^2}{2} - \frac{y^2}{2D} = \frac{4D}{3N} AA',$$

$$Ad^2x + 2xdx - \frac{y}{D} = \frac{4D}{3N} \times \text{dérivée de } (AA').$$

Dérivons m fois, en nous servant de la formule symbolique qui donne la dérivée $m^{ième}$ d'un produit. On peut écrire immédiatement :

$$(\delta_m)\left\{\begin{aligned}&2\left[xd^{m+1}x+md^mxdx+\frac{m(m-1)}{1.2}d^{m-1}xd^2x+\ldots..\right]+\\&+\left[d^{m+2}xA+md^{m+1}xA'+\frac{m(m-1)}{1.2}d^mxA''\ldots..\right]=\\&=\frac{4D}{3N}\left[A^{m+1}A+(m+1)A^mA'+\frac{(m+1)m}{1.2}A''A^{m-1}+\ldots..\right]\end{aligned}\right.$$

Seulement dans le cas de $m=1$ il faudra ajouter au premier membre le terme $-\frac{1}{D}$.

Pour avoir la formule générale de la dérivée $m^{ième}$, il ne reste plus qu'à remplacer A et ses dérivées successives par leurs valeurs en x, en remarquant que $A'=x$,.... et $d^{m-1}x=A^m$ (A^m désigne la dérivée $m^{ième}$ de A par rapport à y).

Si on fait $y=0$, ce qui entraîne $A=0$, $A'=0$, on a la formule générale qui donne la dérivée $m^{ième}$, prise pour $y=0$, en fonction des dérivées précédentes; elle est la suivante :

$$(\delta_m^0)\left\{\begin{aligned}&\frac{m(m+3)}{1.2}d^mxdx+\frac{m(m-1)(m+4)}{1.2.3}d^{m-1}xd^2x+\ldots..\\&\frac{m(m-1)\ldots..(m-n+2)(m+n+1)}{1.2.3\ldots..n}d^{m-n+2}xd^{n-1}x=\\&=\frac{4D}{3N}\left[\frac{m(m+1)}{1.2}d^{m-1}xdx+\frac{(m+1)m(m-1)}{1.2.3}d^{m-2}xd^2x\ldots..\right]\end{aligned}\right.$$

Cette équation montre de suite la vérité du théorème énoncé sur les dérivées. Supposons en effet la loi vérifiée jusqu'à la ($m-1^{ième}$) dérivée. On voit immédiatement qu'elle le sera pour la $m^{ième}$ et comme les équations (δ^0) que nous avons déjà écrites montrent que la loi est vraie pour les premières dérivées, elle le sera pour toutes (*).

(*) Le second terme du premier membre est de la forme $\left(\frac{D}{N}\right)^{m-2}\times dx\times\left(\frac{D}{N}\right)\times dx\times$ constante, c'est-à-dire

De plus dx, c'est-à-dire $\sqrt{\frac{1}{2D}}$, entrant en facteur dans toutes les dérivées, on pourra écrire :

$$(12)\quad x=\sqrt{\frac{1}{2D}}\cdot\left[y+K^2\frac{D}{N}y^2+K_3\frac{D^2}{N^2}y^3+\ldots\ldots K_m\frac{D^{m-1}}{N^{m-1}}y^m\right];$$

K_2, K_3,…, K_m étant des coefficients numériques dont les premiers sont ceux dont nous avons donné plus haut les valeurs.

On peut aussi écrire :

$$(13)\quad \frac{D}{N}\times x=\sqrt{\frac{1}{2D}}\times\left[\frac{Dy}{N}+K_2\left(\frac{Dy}{N}\right)^2+K_3\left(\frac{Dy}{N}\right)^3+\ldots\ldots\right].$$

Conséquences de la loi de formation des dérivées. — Cette équation montre deux points importants :

1° Si D reste constant et que N varie, la courbe reste semblable à elle-même par rapport au sommet, et le rapport de similitude est égal au rapport des valeurs que prend successivement N.

2° Si $\frac{D}{N}$ reste constant et que N et D varient, les courbes sont les projections les unes des autres sur l'axe des y, et le rapport des x correspondant à un même y, est égal au rapport inverse des racines carrées des densités.

$\left(\frac{D}{N}\right)^{m-1}\times\overline{dx}^2\times$ constante, et il en est de même de tous les autres.

Dans le second membre, la quantité entre parenthèses est de la forme $\left(\frac{D}{N}\right)^{m-2}\times dx\times dx\times$ constante; par suite le second membre est, lui aussi, de la forme $\left(\frac{D}{N}\right)^{m-1}\times\overline{dx}^2\times$ constante, et en dérivant par dx, on arrive pour d^mx à la forme énoncée $\left(\frac{D}{N}\right)^{m-1}\times dx\times$ constante.

Ces deux théorèmes sont du reste presque évidents *à priori*, comme nous allons le montrer et si nous les avons tirés des formules, c'est pour en montrer l'exactitude.

Soit en effet OBD un profil (*fig.* 4) tel qu'en tous les points de OB la pression soit N. Construisons une courbe OB' en multipliant par un nombre constant q tous les rayons vecteurs.

Soit A la surface comprise dans le premier profil au-dessus de la section BD, G le centre de gravité. Si nous supposons que D reste constant, le rapport des poids est égal à celui des surfaces. Si B est la surface du second profil au-dessus de B'D' on aura $B = A \times q^2$. D'autre part $B'D' = BD \times q$. Donc, si la pression moyenne est p dans le premier profil, la pression moyenne p_1 sera dans le second $p^1 = pq$. Or il résulte de la similitude complète des figures que l'on a à construire, pour trouver la résultante totale dans les deux cas, que n reste constant, c'est-à-dire que le facteur $\frac{4}{3(1-n)}$ ne change pas. Par suite, la pression maximum en B' est égale à la pression maximum en B multipliée par q; elle sera donc constante sur tous les points du nouveau profil.

Supposons maintenant que N et D varient tous les deux. La formule $N - \frac{2}{3} D \times \frac{A^2}{Ax - AX - \frac{y^3}{6D}}$ montre que, si on projette la courbe dans le rapport de 1 à q par exemple, les quantités A^2, Ax, AX sont multipliées par q^2; la quantité $\frac{y^3}{6D}$, qui devient $\frac{y^3}{6D^1}$, peut être considérée comme multipliée par $\frac{D}{D_1}$.

Si donc $q^2 = \frac{D}{D_1}$ ou $q = \sqrt{\frac{D}{D_1}}$, on aura $\frac{N}{N_1} = \frac{D}{D_1}$; ce qui démontre notre deuxième proposition.

Il est dès lors facile de passer d'un profil déterminé à un autre profil quelconque.

Supposons en effet qu'on ait construit le profil correspondant au cas de $D = 2$; $N = 100$, et qu'on veuille avoir celui qui corespond au cas de $D = 3$, $N = 200$.

En réduisant les abscisses dans le rapport de $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$, nous aurons un profil qui sera celui qu'on obtiendrait directement si on faisait l'hypothèse de $D = 3$ et $N = 3 \times \frac{100}{2} = 150$. Pour passer de cette courbe à celle que nous cherchons, il nous suffira de multiplier tous les rayons vecteurs par le rapport $\frac{200}{150} = \frac{4}{3}$.

On sait que ces deux transformations s'exécutent géométriquement avec une grande rapidité; donc nous pouvons dès à présent dire :

Quand un mur a son parement amont vertical, on pourra déduire très-simplement tous les profils correspondants à diverses valeurs de D et de N, de l'un d'eux une fois calculé.

Le courbe de pression, dont nous avons écrit plus haut l'équation générale, sera représentée, dans ce cas spécial du parement amont vertical par

$$x - \alpha = \frac{2D}{3N} \times A, \qquad (14)$$

en remarquant que dans le cas qui nous occupe $P = P_1 = DA$.

Elle se déduira donc très-simplement de la courbe aval. Si on intégre l'équation (12) pour avoir A et qu'on mette sa valeur dans l'équation (14) après avoir muliplié les

deux membres par $\frac{D}{N}$, on aura l'équation de la courbe de pression :

$$\frac{Dx}{N}-\frac{D\alpha}{N}=\frac{2}{3}\sqrt{\frac{1}{2D}}\left[\lambda_2\left(\frac{Dy}{N}\right)^2+\lambda_3\left(\frac{Dy}{N}\right)^3+\ldots..\right].$$

Elle est donc de la même forme que l'équation de la courbe aval, et se transformera de la même manière que celle-ci, quand N et D varieront.

λ_2, λ_3..... sont d'ailleurs des coefficients numériques indépendants de N et de D, qui se déduisent immédiatement des coefficients numériques de l'équation (12), et ce sont ceux qui entrent dans la valeur de A, qui peut s'écrire :

$$(15)\qquad A=\frac{N^2}{D^2}\sqrt{\frac{1}{2D}}\left[\lambda_2\left(\frac{Dy}{N}\right)^2+\lambda_3\left(\frac{Dy}{N}\right)^3+\ldots.\right].$$

Les valeurs numériques des coefficients sont :

λ_2	λ_3	λ_4	$\lambda_5 + \ldots..$
$\frac{1}{2}$	$\frac{K^2}{3}$	$\frac{K^3}{4}$	$\frac{K^4}{5} + \ldots..$

Et comme K_2, K_3..... ont été calculés plus haut, nous connaissons λ_2 λ_3 λ_4.....

Détermination de la section d'écrasement. — Déterminons à quelle hauteur on sera obligé de se mettre en courbe à l'amont pour satisfaire la condition de résistance au poids. Comme $\frac{P}{\Omega}$ est toujours égal à $\frac{P_1}{\Omega}$, à cause de la verticalité du parement, la pression maximum deviendra N sur l'arête amont quand on aura $n=n_1$ ou, ce qui revient au même, $X=x-\alpha$, puisque X est l'abscisse de la deuxième courbe de pression, comme α est l'abscisse de la

première. Eu égard à la relation (14), on aura donc dans cette section $X = \frac{2D}{3N} \times A$, et aussi

$$(16) \qquad AX = \frac{2D}{3N} \times A^2.$$

Pour avoir AX, il faut intégrer $\int \frac{x^2 dy}{2}$.

Si on élève l'équation (12) au carré et qu'on intègre, on aura, en multipliant les deux membres par $\frac{D^3}{N^3}$:

$$\frac{D^3}{N^3} AX = \frac{1}{2D}\left[\mu_3 \left(\frac{Dy}{N}\right)^3 + \mu_4 \left(\frac{Dy}{N}\right)^4 + \ldots\ldots\right],$$

μ_3, μ_4..... étant des coefficients numériques indépendant de D et de N.

L'équation (15) se met sous la forme :

$$\frac{N^3}{D^3} \times \frac{1}{2D} \cdot \left[\mu_3 \left(\frac{Dy}{N}\right)^3 + \mu_4 \left(\frac{Dy}{N}\right)^4 + \ldots\ldots\right] =$$
$$= \frac{2D}{3N} \times \frac{N^4}{D^4} \times \frac{1}{2D}\left[\overline{\lambda_2 \left(\frac{Dy}{N}\right)^2 + \lambda_3 \left(\frac{Dy}{N}\right)^3 \ldots\ldots}^2\right].$$

Supprimant les facteurs communs et posant $\frac{Dy}{N} = Y$, il vient

$$\frac{3}{2}(\mu_3 Y^3 + \mu_4 Y^4 + \ldots\ldots) = \left(\overline{\lambda_2 Y^2 + \lambda_3 Y^3 + \ldots}^2\right).$$

La résolution de cette équation donnera pour Y une valeur numérique indépendante de D et de N, d'où le théorème :

La section d'écrasement est située à une hauteur qui est une fraction constante du rapport $\frac{N}{D}$.

Détermination des constantes. — Cette valeur ne dépen-

dant que du rapport $\frac{N}{D}$ ne changera pas si, le rapport restant constant, N et D tendent vers l'infini : le profil tend dans ce cas vers un triangle dont l'angle au sommet tend lui-même vers zéro. Or, avec une forme triangulaire, la hauteur à laquelle la pression maximum serait N, sur l'arête amont, serait : $\frac{N}{D}$; il en sera donc de même ici, c'est-à-dire que l'équation précédente doit être satisfaite pour $Y = 1$.

Si on porte cette valeur de Y dans l'équation qui donne x, on trouve :

$$\frac{N}{D}\sqrt{\frac{1}{2D}} \times 1,384.$$

Si on porte cette même valeur dans l'équation qui donne la surface, on trouve :

$$0,6224 \times \frac{N^2}{D^2}\sqrt{\frac{1}{2D}}.$$

Ces deux coefficients numériques ne peuvent pas être calculés exactement, à moins qu'on ne trouve le moyen de sommer une des deux séries. Si on trouve la valeur exacte de l'une, on aura la valeur exacte de l'autre. Soient, en effet, t et r ces deux coefficients : si dans l'équation (δ) on met pour x, y, A, X, les valeurs correspondantes à la section d'écrasement, on trouve :

$$4r^2 + 1 = 3rt.$$

Mais comme ce n'est pas important et que la sommation n'était pas évidente, nous ne nous y sommes pas attaché.

Si on appelle H la hauteur à laquelle est située la section d'écrasement L, cette section, et S la surface du mur

au-dessus de cette section, on a, comme nous venons de le dire :

(17) $$H = \frac{N}{D}.$$

(18) $$L = \frac{N}{D}\sqrt{\frac{1}{2D}} \times 1,384.$$

(19) $$S = \frac{N^2}{D^2}\sqrt{\frac{1}{2D}} \times 0,6224.$$

L'équation (17) montre que l'on pourra élever le profil sans se mettre en courbe à l'amont, jusqu'à la même hauteur que si on avait affaire à un massif rectangulaire.

L'équation (18) conduit à une conséquence importante. Si on suppose la tangente au sommet prolongée jusqu'à la section d'écrasement, on a un triangle dont la surface est

$$\frac{H^2}{2}\sqrt{\frac{1}{2D}} = 0,5 \times \frac{N^2}{D^2}\sqrt{\frac{1}{2D}}.$$

Si on prend le rapport de cette surface à la surface totale S, on trouve environ $\frac{5}{6}$. Ainsi donc, quel que soit N, les $\frac{5}{6}$ du profil jusqu'à la section d'écrasement sont déterminés par la densité seule. Si, au lieu de considérer la surface jusqu'à la section d'écrasement, on considérait la surface comprise jusqu'à une section située plus haut, le rapport considéré s'approcherait de 1.

Par là se trouve justifié ce fait que nous avons avancé, que la densité a sur la section du profil une beaucoup plus grande influence que la résistance à l'écrasement.

Ce que nous avons appelé première zone du barrage est absolument déterminé et est calculé une fois pour toutes.

La plupart des barrages sont formés de cette seule zone, car la quantité $\frac{N}{D}$, n'aura guère jamais moins

de 30 à 40 mètres, avec les matériaux les moins avantageux.

Si on ne veut pas se servir d'un profil déjà déterminé, ou si on n'en a pas un sous la main, on pourra en calculer un en quelques minutes au moyen de la formule qui donne x et que nous écrirons pour mémoire ici :

$$(20)\quad \begin{cases} x = \sqrt{\frac{1}{2D}}\left(y + 0{,}285714\,\frac{D}{N}\,y^2 + 0{,}08080808\,\frac{D^2}{N^2}\,y^3 + \right. \\ \left. \qquad + 0{,}01856\,\frac{D^3}{N^3}\,y^4 + 0{,}0010\,\frac{D^4}{N^4}\,y^5 \ldots\ldots\right). \end{cases}$$

Les termes que nous donnons ici suffiront à tous les cas. Mettons en effet la formule sous la forme

$$(21)\quad \begin{cases} \frac{Dx}{N} = \sqrt{\frac{1}{2D}}(Y + 0{,}285714Y^2 + 0{,}080808Y^3 + \\ \qquad + 0{,}01856Y^4 + 0{,}0010Y^5 \ldots\ldots), \end{cases}$$

dont nous nous sommes déjà servi et dans laquelle on a $Y = \frac{Dy}{N}$.

Pour $Y = 1$, qui est la plus grande valeur que puisse prendre Y, le dernier terme a pour valeur $0{,}0010\sqrt{\frac{1}{2D}}$; Si $D = 2$ ce sera 0,0005. En multipliant par $\frac{N}{D}$ on aura $0{,}0005\,\frac{N}{D}$, et si N est supposé égal à 100, ce sera $0^m{,}0005 \times 50 = 0^m{,}025$. Le terme suivant ne donnerait donc que des millimètres, et comme c'est à peine si on peut admettre les centimètres, l'approximation est largement suffisante.

Résultats pratiques. — En pratique, on ne pourra pas adopter exactement pour parement la courbe représentée

par l'équation (20) ; il faudra lui substituer un polygone inscrit. Cette nécessité amènera quelques modifications dans les résultats, mais les modifications que nous allons maintenant signaler ne sont que fort légères et ne sont nullement inquiétantes.

Nous avons construit ci-joint (*fig.* 5) une épure qui correspond au cas de D = 2 et N = 100, ce qui peut être considéré comme le cas moyen. Aussi cette courbe se prête-t-elle bien à la construction de toutes les autres courbes.

Nous avons calculé des points tous les 10 mètres, et, comme la section d'écrasement est dans ce cas à une hauteur de 50 mètres, nous avons eu 4 points seulement à calculer, et cela ne nous a pris que quelques instants, parce que les valeurs de y sont des multiples de 10. Nous avons ensuite vérifié directement quelle était la pression maximum sur l'arête aval dans la section à 50 mètres de hauteur.

Nous avons alors constaté que dans cette section la pression maximum sur l'arête aval était inférieure à 100, c'est-à-dire que la section d'écrasement n'était pas encore atteinte. Ce fait qui, au premier abord, peut paraître surprenant, n'est qu'une conséquence de la substitution du polygone à la courbe théorique. Nous en donnons l'explication dans la note (*)

(*) Supposons que OCA soit la courbe théorique (voir la *fig.* 5, Pl. 19), AD la section faite à 50 mètres de hauteur, la pression en D sera égale à 100. Si l'on adoptait pour profil le triangle DOA, au lieu de DOCA, la pression serait encore 100 en D, puisque la pression moyenne serait $\frac{D \times OD}{2} = 50$, et que la pression maximum en D serait double de la pression moyenne, parce que le centre de gravité du triangle tombe au tiers de AD, à partir du point D. Supposons une section faite à 25 mètres de hauteur, telle que KLMCF, l'équation (20) donne CF = 14^m,70 et AD = 34^m,60. Supposons que le profil soit formé de deux lignes OK et KA, K étant tel que KF = 20 mètres par exemple, on a LF = $\frac{AD}{2}$ = 17^m,30. Le point K

Pour nous rendre compte de l'importance que pouvait avoir ce fait, nous avons déterminé graphiquement la section d'écrasement par un procédé simple et très-suffisamment exact. Nous avons calculé une section à 55 mètres, pour

---

est, par suite, un point situé dans l'angle EOA. La surface du profil sera égale à 932,5; la quantité AX est donnée par

$$AX = \frac{50 \times 20}{2} \times \frac{1}{3}\, 20 + \frac{34,6}{2} \times 25 \times \frac{2}{3}\left(\frac{20 + 34,6}{2}\right) = 11273.$$

En considérant le profil comme formé de la somme des deux triangles OKD, KAD, on a alors

$$X = \frac{11273}{932,5} = 12,08, \qquad \text{d'où } n = \frac{17,3 - 12,08}{17,3} = 0,3017.$$

n est ici plus petit que $\frac{1}{3}$, comme il fallait s'y attendre. La pression maximum en D sera alors exprimée par la formule $\frac{P}{\Omega} \times (1 + 3n)$, ce qui donne ici : $\frac{2 \times 932,5}{34,6}(1 + 3 \times 0,3017) = \frac{3553}{34,6}$. La pression en D est donc plus grande que 100.

Supposons le profil formé des deux lignes OM et MA, M étant un point tel que MP = 16 mètres par exemple, c'est-à-dire tel que le point M soit situé entre la courbe OCA et la droite OA. Un calcul identique à celui que nous venons de faire donne :

$$A = 832,5; \; AX = 9428,166; \; X = 11,32; \; n = 0,352.$$

Ici on a : $n > \frac{1}{3}$, comme on devait du reste le prévoir. La pression maximum en D sera donnée par

$$\frac{P}{\Omega} \times \frac{4}{3(1-n)} = \frac{832,5 \times 2}{34,6} \cdot \frac{4}{3(1 - 0,352)} = \frac{6.660}{67,26}.$$

La pression est donc moindre que 100.

Il résulte de là un fait assez curieux. Soit ADOE un rectangle dont on a pris la hauteur de telle façon que la pression dans le plan de base soit égale à N. Si l'on retranche une partie du profil en le découpant suivant une certaine courbe passant par le point O et le point A, la pression en D sera plus grande que N tant que la courbe en question sera située au-dessus de AO. Elle redeviendra égale à N quand la courbe se réduira à la droite OA; puis elle diminuera si la courbe est comprise entre OA et la courbe ACO, qui

laquelle l'équation de la courbe de pression nous a donné $n_1 > n$, tandis que dans la section à 50 mètres, on a $n_1 < n$. Nous avons joint les points milieux des deux courbes de pression dans ces deux sections, et nous avons pris l'intersection avec la ligne milieu des centres des deux sections.

La section horizontale passant par ce point est la section réelle d'écrasement, puisqu'on y a $n = n_1$. Cette construction nous a conduit à la hauteur de $53^m,20$. C'est-à-dire qu'au lieu de trouver $H = \frac{N}{D}$, comme indique la théorie, nous avons $H = 1.07\,\frac{N}{D}$.

L'augmentation de la surface du profil qui résulte de la substitution d'un polygone à la courbe théorique est donc en quelque sorte compensée par la possibilité de ne se mettre en courbe que quelques mètres plus tard.

Si l'on reporte cette nouvelle valeur de H dans les équations qui donnent x et A, on trouve :

$$H = 1,072\,\frac{N}{D}, \tag{22}$$

$$L = 1,528\,\frac{N}{D}\sqrt{\frac{1}{2D}}, \tag{23}$$

$$S = 0,728\,\frac{N^2}{D^2}\sqrt{\frac{1}{2D}}. \tag{24}$$

---

est le profil d'un barrage tel que, quand l'eau agit sur lui, la pression est N en tous les points de cette courbe. La pression augmentera enfin, pour devenir infinie à mesure que le profil se rapprochera de ODA.

Ce que nous avons fait dans notre épure (*fig.* 5) n'est pas autre chose que remplacer le profil OCA par un profil compris entre OCA et OA ; c'est pour cela que nous avons trouvé sur l'arête amont une pression inférieure à 100.

Remarquons en outre que le profil OKA, qui est beaucoup plus grand que le profil OCA, serait un profil dangereux, parce que la pression en D serait plus grande que 100. C'est une nouvelle constatation de ce fait, bien évident d'ailleurs, qu'autant il est utile

L'approximation que nous avons faite étant toujours à peu près celle qu'on fera, ces nouvelles valeurs pourront être considérées comme devant être appliquées pratiquement. Comme du reste il n'y a aucun avantage, au point de vue des calculs suivants, à adopter les valeurs correspondantes à la valeur théorique $H = \frac{N}{D}$, nous continuerons à nous servir des valeurs données par ces équations.

Nous avons construit dans l'épure (*fig.* 5) les courbes de pression, et par le calcul et par une construction graphique. Nulle part nous n'avons pu trouver d'erreur sensible. Ceci nous dispense de vérifier directement les pressions sur l'arête aval. Le graphique nous donnant exactement la même valeur de n que le calcul, la pression est exactement 100, ou du moins elle diffère de ce chiffre d'une quantité qui est inférieure à celles qu'on peut apprécier par une construction graphique.

Résumé des propriétés de la première zone. — Résumons ce qui est relatif à la première zone.

Quand on aura à construire un mur, si la hauteur est inférieure à $\frac{N}{D}$, on pourra le construire avec un parement vertical à l'amont. Cette hauteur théorique de $\frac{N}{D}$ peut être portée pratiquement à $1.07 \times \frac{N}{D}$, et, puisque les murs qu'on a à construire sont généralement d'une hauteur moindre, la courbe aval se calculera en quelques instants au moyen de l'équation (20), dans laquelle il suffira tou-

---

d'employer dans un ouvrage la quantité nécessaire de maçonnerie, autant il est à désirer de n'en pas mettre trop : car outre la question d'économie, les maçonneries qui ne sont pas utiles sont presque toujours nuisibles.

jours de prendre les cinq premiers termes. On aura une approximation suffisante en calculant des points tous les 10 mètres, c'est-à-dire 4 à 5 au plus, en comptant celui qui correspond à la section d'écrasement. Pour le calcul des premiers points il est inutile de prendre cinq termes, deux ou trois suffisent largement, et l'on peut adopter comme règle de négliger tous ceux qui ne donnent pas des millimètres au moins. Dans ces conditions, le calcul de la courbe aval ne prendra pas plus de quelques minutes.

Quand on aura calculé cette courbe pour des valeurs déterminées de N et de D, on en déduira les courbes correspondantes à d'autres valeurs quelconques de N et de D, par une construction géométrique des plus simples. Les tâtonnements seront donc exécutés avec une extrême rapidité.

Ces tâtonnements seront eux-mêmes facilités en se rappelant que les $\frac{5}{6}$ environ du profil sont déterminés par la densité seule, et que, par conséquent, il y a lieu d'essayer surtout les matériaux les plus denses.

Passons maintenant au calcul de la deuxième zone.

Calcul de la deuxième zone. — Bien que nous soyons en courbe à l'amont, il faut nous servir, pour le calcul de la pression sur l'arête aval de la formule générale (11), qui est encore applicable, puisque, ainsi que nous l'avons dit plus haut, n continue dans toute cette zone à être plus grand que $\frac{1}{3}$. Mais la condition de verticalité du parement amont étant remplacée ici par la conditiou que la pression sur l'arête amont soit constamment N, il nous faut établir une formule qui exprime cette condition. On y est conduit par un raisonnement identique à celui qui a servi à établir la formule (11), en se rappelent que n_1 est, lui aussi, plus grand que $\frac{1}{3}$.

Nous ne referons donc pas le calcul. On arrive à la formule

$$(\omega) \qquad N = \frac{2}{3} \times \frac{P_1^2}{P_1 x_1 + DAX - DA_1 X_1},$$

(P_1 est le poids des maçonneries.)

Rappelons que nous avons appelé H et L les coordonnées du point du profil aval situé dans la section d'écrasement, S la surface du profil au-dessus de cette section.

Supposons x et x_1 développés en série ;

Nous pourrons écrire :

$$(25) \quad x - L = (y-H)dx + (y-H)^2 \frac{d^2x}{1.2} + (y-H)^3 \frac{d^3x}{1.2.3} + \ldots\ldots,$$

$$(26) \quad x_1 = (y-H)dx_1 + (y-H)^2 \frac{d^2x_1}{1.2} + (y-H)^3 \frac{d^3x_1}{1.2.3} + \ldots\ldots;$$

les quantités d^2x, dx, $d^3x, \ldots$ dx_1, d^2x_1, $d^3x_1, \ldots$ doivent être affectées ici de l'indice H pour indiquer qu'elles correspondent à $y = H$.

Pour avoir les quantités dx, d^2x, etc...., il faut, dans les équations (γ), faire $y=H$, $x=L$, $A=S$ et $x_1=0$, $A_1=0$.

On a alors :

$$(\gamma'') \left\{ \begin{array}{l} P'x + Pdx - \dfrac{Dx^2}{2} - \dfrac{y^2}{2} = \dfrac{4}{3N} PP', \\ P''x + 2P'dx + Pd^2x - Dxdx + y\overline{dx_1}^2 - y = \dfrac{4}{3N}(PP'' + P'^2), \\ P'''x + 3P''dx + 3P'd^2x + Pd^3x - Dxd^2x - D\overline{dx}^2 + (D+2)\overline{dx_1}^2 + \\ \qquad + 3ydx_1d^2x_1 + yx_1d^3x_1 - 1 = \dfrac{4}{3N}(PP''' + 3P'P''), \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{array} \right.$$

auxquelles il faut ajouter les suivantes :

$$(\varepsilon'')\left\{\begin{array}{l} P\ \ = DA, \\ P' = Dx + y dx_1, \\ P'' = D dx + (D+1) dx_1 + y d^2 x_1, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ P^{m+1} = D d^m x + (D+m) d^m x_1 + y d^{m+1} y_1, \end{array}\right.$$

qu'on déduit des équations (ε) en faisant $x_1 = 0$.

(Il faudrait dans les équations (γ'') et (ε'') remplacer y par H, x par L, et A par S. Nous avons pensé qu'il ne convenait pas de le faire, et nous avons laissé les mêmes lettres pour qu'on voie mieux comment ces équations se déduisent des équations générales, mais il est bien entendu que les quantités y, x et A ont dans ces équations les valeurs particulières H, L, S.)

Formons maintenant les équations ω.

$$(\omega)\left\{\begin{array}{l} P_1 x_1 + DAX - DA_1X_1 = \dfrac{2P_1^2}{3N}, \\ P'_1 x_1 + P_1 dx_1 + \dfrac{Dx^2}{2} - \dfrac{Dx_1^2}{2} = \dfrac{4}{3N} P_1 P'_1, \\ P''_1 x_1 + 2P'_1 dx_1 + P_1 d^2 x_1 + Dx dx - Dx_1 dx_1 = \dfrac{4}{3N}(P_1 P''_1 + P'^2_1), \\ P'''_1 x_1 + 3P''_1 dx_1 + 3P'_1 d^2 x_1 + P_1 d^3 x_1 + \overline{Ddx}^2 + Dx d^2 x - \\ \qquad - Dx_1 d^2 x_1 = \dfrac{4}{3N}[P_1 P'''_1 + 3P'_1 P''_1]. \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}\right.$$

(L'indice est ici indéterminé, parce que les équations sont vraies quel que soit y.)

A ces équations il faut joindre les suivantes :

$$(u)\left\{\begin{array}{l} P_1 = D(A + A_1), \\ P'_1 = D(x + x_1), \\ P''_1 = D(dx + dx_1), \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ P^m_1 = D[d^{m-1}x) + d^{m-1}x_1]. \end{array}\right.$$

Il faut maintenant faire dans ces équations $y=H$, $x=L$, $A=S$, $x_1=o$, $A_1=o$. Elles deviennent :

$$(\omega^H)\begin{cases} P_1 dx_1 + \dfrac{Dx^2}{2} = \dfrac{4}{3N} P_1 P'_1, \\ 2P'_1 dx_1 + P_1 d^2x_1 + Dx dx = \dfrac{4}{3N}[P_1 P''_1 + P'^2_1], \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

et :

$$(\gamma^H)\begin{cases} P_1 = DA, \\ P'_1 = Dx, \\ P''_1 = D(dx + dx_1). \end{cases}$$

(Ici l'indice doit être partout H. Par la même raison que précédemment, nous n'avons pas remplacé, comme nous aurions dû le faire, les lettres y, x, A par leurs valeurs H, L, S.)

La première des équations (ω^H) donne dx_1, si on porte cette valeur de dx_1 dans l'équation $(\gamma^H{}_1)$, nous aurons dx. Alors l'équation $(\omega^H{}_2)$ nous donnera d^2x_1 et ainsi de suite. Les quantités dont nous avons besoin pour calculer les développements de x et de x_1, se calculeront donc par des équations du premier degré à une seule inconnue.

Loi de formation des dérivées. — Un raisonnement analogue à celui que nous avons fait plus haut montre que l'on aurait :

$$d^m x = \left(\frac{D}{N}\right)^{m-1}\sqrt{\frac{1}{2D}}\left[p + p_1\frac{1}{D} + \ldots\ldots\ p_m\frac{1}{D^m}\right],$$

$$d^m x_1 = \left(\frac{D}{N}\right)^{m-1}\sqrt{\frac{1}{2D}}\left[q + q_1\frac{1}{D} + \ldots\ldots\ q_{m-1}\frac{1}{D^{m-1}}\right].$$

Ceci montre que quand D reste constant, les courbes sont semblables et se transforment comme précédemment,

mais qu'on ne peut plus faire la transformation indiquée ci-dessus, quand N et D variant, le rapport $\frac{N}{D}$ reste constant. Il semble donc qu'on sera obligé de refaire les calculs toutes les fois que D variera. Nous allons montrer que cela n'est pas nécessaire, et qu'en faisant les transformations comme si le second théorème continuait à être juste, on arrive à une approximation très-suffisante.

Détermination de la première section de passage. — Déterminons d'abord ce que nous avons appelé ***première section de passage***, c'est-à-dire la section dans laquelle on a $n = \frac{1}{3}$.

Dans la section d'écrasement l'abscisse α de la courbe de pression est donnée par la formule $x - \alpha = \frac{2D}{3N}A$, dans laquelle il faut mettre pour A la valeur donnée par l'équation (24) ; on en déduit :

$$n = \frac{\frac{x}{2} - (x - \alpha)}{\frac{x}{2}} = 1 - \frac{2(x-\alpha)}{x} = 1 - \frac{4D}{3N} \times \frac{A}{x},$$

dans laquelle il faut mettre pour x la valeur donnée par l'équation (23). Il vient

$$n = 1 - \frac{4D}{3N} \times 0{,}728 \frac{N^2}{D^2} \sqrt{\frac{1}{2D}} \times \frac{D}{N} \sqrt{2D} \times \frac{1}{1{,}528} =$$
$$= 1 - \frac{4 \times 0{,}728}{3 \times 1{,}528} = 0{,}36.$$

Ainsi quels que soient N et D, dans la section d'écrasement, n sera toujours très-voisin de $\frac{1}{3}$; par suite, la deuxième zone est toujours d'une hauteur très-faible.

Il est dès lors naturel d'employer en quelque sorte la méthode des approximations successives.

Les premières équations ω'' et γ'' donnent :

$$dx_1 = 0{,}435\sqrt{\frac{1}{2D}},$$

$$dx = \left(2{,}406 - 0{,}40307\,\frac{1}{D}\right)\sqrt{\frac{1}{2D}},$$

$$d^2x_1 = \frac{D}{N}\sqrt{\frac{1}{2D}}\left(1{,}6205 + 0{,}316\frac{1}{D}\right),$$

$$d^2x = \left(0{,}53 - 1{,}0972\,\frac{1}{D} + 0{,}50\,\frac{1}{D^2}\right)\frac{D}{N}\sqrt{\frac{1}{2D}}.$$

(On voit de suite que si $\frac{N}{D}$ reste constant, ces variétés varient peu avec D.)

La hauteur de la deuxième zone ayant été démontrée devoir être très-petite, nous pouvons supposer les deux courbes confondues avec leurs tangentes, sauf à voir si l'erreur commise est, oui ou non, négligeable.

La première section de passage sera donnée par l'équation :

(27) $$N = \frac{2P}{x + x_2},$$

qui exprime que la pression maximum sur l'arête aval est double de la pression moyenne, ce qui revient à dire que $n = \frac{1}{3}$.

Si nous posons $y - H = y'$, nous aurons :

$$x - L = y'dx, \quad x_1 = y'dx_1,$$

et par suite :

$$x + x_1 = L + y'(dx + dx_1)$$

(dx et dx_1 étant des valeurs correspondantes à $y = H$).

D'une manière générale on a :

$$P = DA + (D - 1)A_1 + x_1 y.$$

Dans la section de passage on aura :

$$P = D\left(S + Ly' + \frac{dx}{2}y'^2\right) + (D-1)\frac{dx_1}{2}y'^2 + (y'+H)y'dx_1,$$

ou $$2P = 2DS + 2y'(DL + Hdx_1) + y'^2\left(Ddx + (D+1)dx_1\right);$$

l'équation (27) donne alors :

$$(28)\left\{\begin{array}{l}\left(Ddx+(D+1)dx_1\right)y'^2+\left(2DL+2Hdx_1-N(dx+dx_1)\right)y'+ \\ \qquad +2DS-NL=0.\end{array}\right.$$

Pour chaque valeur déterminée de D on pourrait calculer y'. Si on suppose $D = 2$ on trouve (29) $y' = 0{,}028.N$.

Si on fait varier D dans les limites où cela est possible pratiquement, c'est-à-dire de 1,8 à 2,5, y' varie de 0,02 N à 0,03 N (*) y' est donc toujours très-petit, et on peut supposer la deuxième zone formée à l'amont et à l'aval par deux lignes droites.

Ceci admis, le calcul de la deuxième zone se réduit à fort peu de chose :

On n'a qu'à calculer dx et dx_1.

La section de passage peut se déterminer graphiquement par un procédé analogue à celui employé pour déterminer la section d'écrasement. Il est indiqué sur l'épure ci-jointe (*fig.* 5). Dans le cas particulier où a été faite cette épure et qui correspond à $D = 2$, $N = 100$, la formule (29) donne $y' = 2^m{,}80$. Nous avons fait une section située à une hauteur $y' = 5$. Nous avons déterminé le point correspondant de la courbe de pression ; n s'est alors naturellement trouvé plus

(*) Il ne faut pas attacher une grande importance aux chiffres exacts. Si l'on se donne la peine de faire quelques épures et d'en vérifier graphiquement les résultats, on trouve que l'on peut faire varier y' de *plusieurs mètres* sans qu'il soit possible de bien voir par l'épure si les pressions sont modifiées. Il n'y a donc d'important dans tout ceci que l'ordre de grandeur de y'.

petit que $\frac{1}{3}$, tandis qu'il est plus grand que $\frac{1}{3}$ dans la section d'écrasement.

Prenons dans les deux sections qui correspondent à $y' = 0$ et à $y' = 5$ le tiers à partir du centre ; joignons ces deux points et prenons l'intersection de cette ligne avec la courbe de pression supposée en ligne droite. La section passant par ce point est la section cherchée puisqu'on y a $n = \frac{1}{3}$. Cette construction nous a donné $y' = 2^m,60$, c'est-à-dire presque identiquement la valeur donnée par la formule (29)

La première courbe de pression a toujours pour équation $x - \alpha = \frac{2P}{3N}$. C'est au moyen de cette formule que nous avons déterminé les points dont nous avions besoin.

Quant à la deuxième courbe de pression, en appelant β son abscisse, son équation est :

$$x_1 + \beta = \frac{2P_1}{3N}. \tag{30}$$

Cela ressort de la formule (ω), en remarquant que $\beta = \dfrac{DAX - DA_1X_1}{P_1}$.

Résumé des propriétés de la deuxième zone. — Ce qui est relatif à la deuxième zone peut se résumer comme il suit :

1° Dans les limites où D peut varier, la hauteur de cette zone est comprise entre 0,02N et 0,05N ;

2° Les courbes amont et aval peuvent être considérées comme des droites ;

3° Quand D reste invariable, N variant, les courbes sont semblables ;

4° Quand N et D varient, la loi de transformation n'apparaît pas, mais en faisant la transformation indiquée pour le cas de la première zone, on n'a pas d'erreur sensible (nous reviendrons sur ce point par un exemple).

Calcul de la troisième zone. — Passons au calcul de la troisième zone.

Elle correspond, comme nous l'avons dit, au cas de $n < \frac{1}{3} . n_1 > \frac{1}{3}$. Les formules ($\gamma$) ne sont plus applicables, puisque dans cette zone, les pressions maximum sur l'arête aval se calculeront par une expression de la forme $\frac{P}{\Omega}(1 + 3n)$.

Quand nous avons établi les formules (γ), nous avons trouvé :

$$n = 1 - \frac{2}{x + x_1}\left(x - \lambda - \frac{y^3}{6P}\right),$$

λ étant tel que l'on ait :

$$\lambda P = DAX - (D - 1)A_1X_1 - \frac{x_1^2 y}{2}.$$

On devra donc avoir dans le cas actuel :

$$N = \frac{P}{\Omega}(1 + 3n) = \frac{P}{x + x_1}\left[4 - \frac{6}{x + x_1}\left(x - \lambda - \frac{y^3}{6P}\right)\right].$$

Ce qui peut s'écrire :

$$(31)\left\{\begin{aligned}(\pi)\ &P(4x_1 - 2x) + 6\left[DAX - (D-1)A_1X_1 - \frac{x_1^2 y}{2}\right] + y^3 = \\ &= N\overline{(x + x_1)}^2.\end{aligned}\right.$$

Appelons H_1 la hauteur, $H + y'$, c'est-à-dire l'ordonnée de la première section de passage. Posons en outre :

$$l = L + y'(dx)_H, \qquad l_1 = y'(dx_1)_H, \qquad \text{et } L_1 = l + l_1.$$

Nous avons dit en outre qu'il était suffisamment exact de supposer les deux courbes réduites à une droite, et que l'on avait pour $y = H$:

$$dx = \left[2{,}046 - 0{,}40307\frac{1}{D}\right]\sqrt{\frac{1}{2D}}; \quad dx_1 = 0{,}435\sqrt{\frac{1}{2D}}.$$

On pourrait conserver dans les calculs D sans lui assigner de valeur particulière ; mais puisque ces expressions varient peu avec D et que y' est faible, nous pourrons, ainsi que dans la valeur de y', supposer $D = 2$, sans que les résultats soient sensiblement altérés. Dans le cas où on voudrait avoir plus d'exactitude, et où D aurait une valeur sensiblement différente de 2, on pourrait refaire les calculs que nous allons indiquer en prenant des valeurs un peu différentes, mais les conséquences auxquelles nous allons arriver ne seraient pas modifiées. Pour $D = 2$ les valeurs de dx et de dx_1 deviennent :

$$dx = 0{,}92225\,; \quad dx_1 = 0{,}2175.$$

En outre, pour être en accord avec l'épure, au lieu de prendre $y' = 0{,}028\,N$ comme l'indique l'équation approchée (28), nous prendrons $y' = 0{,}26\,N$, que nous avons trouvé directement au moyen de la construction graphique. Il en résulte :

$$H_1 = H + y' = 1{,}072\,\frac{N}{2} + 0{,}026N = 0{,}562N.$$

$$l = L + y'(dx)_m = \frac{1{,}528}{4} \times N + 0{,}026N \times 0{,}92225 =$$
$$= 0{,}4059785\,.\,N,$$
$$l_1 = y'(dx_1)\,H = 0{,}005655\,.\,N,$$
$$L = l + l_1 = 0{,}4116335\,.\,N.$$

De plus si S_1 est la surface jusqu'à la limite de la deuxième zone, on aura :

$$S_1 = S + Ly' + \frac{y'^2}{2}(dx + dx_1)_m = \frac{0{,}728}{8}N^2 + 0{,}026N \times$$
$$\times \frac{1.528}{4}N + \frac{\overline{0{,}026}^2}{2}N^2 \times 1{,}13975 = 0{,}1013\,.\,N^2.$$

(Pour $N = 100$, on aurait : $S_1 = 1013^r$ et $P_1 = 2026^r$. L'épure donne 2025^r ; cette différence, absolument insigni-

fiante du reste, tient à ce qu'il a bien fallu supprimer des décimales.)

Si on suppose x et x_1 développés en série, on pourra écrire :

$$(32)\qquad x-l=(y-H_1)dx+\left(\frac{\overline{y-H_1}^2}{2}\right)d^2x+\ldots..,$$

$$(33)\qquad x_1-l_1=(y-H_1)dx_1+\left(\frac{\overline{x-H_1}^2}{2}\right)d^2x_1+\ldots..$$

(Les dérivées successives de x et de x_1 devraient ici être affectées de l'indice H_1 puisqu'elles représentent les valeurs correspondant à $y=H_1$.)

L'équation (30) représentant la deuxième courbe de pression, nous voyons que dans le plan inférieur de la deuxième zone, nous aurons :

$$n_1=\frac{\frac{l+l_1}{2}-\frac{2P_1}{3N}}{\frac{l+l_1}{2}}=1-\frac{8S_1}{3N(l+l_1)}=1-\frac{8\times 0,1013N^2}{3N\times 0,4116335N}=$$

$$=0,343.$$

n_1 sera donc toujours très-voisin de $\frac{1}{3}$, quel que soit N; c'est-à-dire que la troisième zone aura, comme la deuxième, une hauteur très-petite.

Nous nous contenterons alors, comme dans le cas précédent, de calculer dx et dx_1, et encore en faisant l'hypothèse $D=2$ (*).

Si on différentie un certain nombre de fois l'équation π, on aura les équations nécessaires pour calculer x et x_1, en

---

(*) L'examen des équations (ω) et (π) montre que les dérivées successives de x et de x_1 seraient encore de la forme $\left(\frac{D}{N}\right)^{m-1}$ $\varphi(D)$; toutes les observations faites précédemment s'appliquent donc ici.

y joignant les équations ω et en donnant dans ces deux séries d'équations à x, x_1 etc., les valeurs correspondantes à $y = H_1$.

La première équation dérivée de l'équation π est :

$$(\pi_1) \left\{ \begin{array}{l} P(2dx_1 - dx) + \frac{D}{2}(x + x_1)^2 - ydx_1(x + x_1) + \frac{3y^2}{2} = \\ \qquad = N(x + x_1)(dx + dx_1). \end{array} \right.$$

Si dans l'équation (ω_1), on introduit les valeurs correspondant à $y = H_1$, que nous avons calculées ci-dessus, on trouve :

$$(dx_1)_{H_1} = 0,263.$$

Si on introduit les mêmes valeurs dans l'équation π_1, en y joignant $dx_1 = 0,263$, on trouve :

$$(dx)_{H_1} = 0,945.$$

Les équations du profil correspondant à la troisième zone seront, d'après ce que nous avons dit, représentées d'une manière suffisamment exacte par :

$$x - l = 0,945(y - H_1).$$
$$x - l_1 = 0,263(y - H_1).$$

Deuxième section de passage. — Pour trouver la limite de la troisième zone, il faut écrire que $n_1 \frac{1}{3}$, ou, ce qui revient au même, que $\frac{2P_1}{x + x_1} = N$.

Nous avons :

$$x + x_1 = l + l_1 + (y - H_1)(0,945 + 0,263) = 0,4116N + \\ + 1,208y'' \text{ (en posant } y - H_1 = y'').$$

$$A + A_1 = S_1 + 0,4116Ny'' = 0,604y''^2 + 0,1013N^2 + 0,4116Ny'' + \\ + 0,604y''^2.$$

$$2P_1 = 0,4052N^2 + 1,6464Ny'' + 2,416y''^2,$$

en égalant $2P_1$ à $N(x+x_1)$ ou à l'équation cherchée, qui est :

$$2{,}416y''^2 + 0{,}4384Ny'' - 0{,}0064N^2 = 0.$$

d'où on tire : $\frac{y''}{N} = 0{,}013$, où

(34) $$y'' = 0{,}013N,$$

équation qui représente très-approximativement la valeur moyenne de la hauteur de la troisième zone.

Un procédé graphique analogue à celui que nous avons employé pour déterminer la première section de passage, nous a conduit sur l'épure à $y'' = 1^m,1$ au lieu de $y'' = 1^m,30$, que donnerait la formule (34). Mais cette différence est insignifiante, les constructions graphiques n'étant pas suffisamment exactes pour apprécier d'aussi faibles divergences.

Résumé des propriétés de la troisième zone. — En résumé, nous pouvons dire sur la troisième zone :

1° Que la hauteur est très-petite et ne dépasse pas 0,013 N;

2° Qu'il est suffisamment exact de réduire les courbes amont et aval à leurs tangentes ;

3° Que si D reste constant, N variant, les courbes se transforment comme il a été dit pour la première zone;

4° Que si D et N varient tous deux, $\frac{D}{N}$ restant constant, on ne peut pas faire théoriquement la transformation indiquée pour la première zone, mais que si on l'exécute néanmoins, on arrive à des résultats qui sont pratiquement suffisamment approchés. (Nous reviendrons sur ce point par un exemple numérique.)

Passons à la quatrième zone.

Formules applicables à la quatrième zone. — Dans cette zone on a à la fois $n < \frac{1}{3}$; $n_1 < \frac{1}{3}$.

La formule ω n'est pas applicable pour calculer la pression sur l'arête amont.

Si on appelle λ l'abscisse du centre de gravité, on aura :

$$\lambda P_1 = DAX - DA_1X_1.$$

Il en résulte :

$$n_1 = \frac{\frac{x+x_1}{2} - (\lambda + x_1)}{\frac{x+x_1}{2}} = 1 - \frac{2(\lambda + x_1)}{x + x_1}.$$

$$1 + 3n_1 = 4 - \frac{6(\lambda + x_1)}{x + x_1}.$$

L'équation est donc :

(35) $(\varphi)\ N = \frac{P_1}{x+x_1}\left[4 - \frac{6(\lambda + x_1)}{x+x_1}\right],$ ou

(35) $(\varphi)\ P_1(4x - 2x_1) - 6DAX + 6DA_1X_1 = N(x+x_1)^2.$

Cette équation, jointe à l'équation (π), détermine la quatrième zone.

Appelons H_2 la hauteur correspondant à la deuxième section de passage, m et m_1 les valeurs correspondantes de x et de x_1, x et x_1 développés en séries, s'écriront :

$$x - m = (y - H_2)dx + \left(\frac{\overline{y - H_2}^2}{1,2}\right) d^2x + \ldots\ldots,$$

$$x_1 - m_1 = (y - H_2)dx_1 + \left(\frac{\overline{y - H_2}^2}{1,2}\right) d^2x_1 + \ldots\ldots$$

(Les dérivées de x et de x_1 étant affectées de l'indice H_2, pour montrer qu'elles correspondent à la valeur $y = H_2$.)

Les éléments du calcul de la quatrième zone sont H_2, m, m_1, S_2, en appelant S_2 la surface totale du profil jusqu'à la deuxième section de passage, on a :

$$H_2 = H_1 + y'',$$
$$m = l + y''(dx)_{H_1},$$
$$m_1 = l_1 + y''(dx_1)_{H_1},$$
$$S_2 = S_1 + (l + l_1)y'' + (dx + dx_1)_{H_1} \cdot \frac{y''^2}{2}.$$

Pour continuer à être d'accord avec l'épure, nous prendrons pour y'' la valeur trouvée graphiquement $y'' = 0{,}011\,N$.

En outre, cette valeur de y'' correspondant à $D = 2$, nous ferons les calculs suivants avec $N = 100$. Cette double hypothèse ne particularise que D, car il résulte des équations (π) et (φ) que la loi de formation en N des dérivées successives reste la même que précédemment, c'est-à-dire que les courbes restent semblables quand N varie, D restant constant.

On peut alors prendre :

$$H_2 = 57^{m},30,$$
$$m = 41^{m},44,$$
$$m_1 = 0^{m},89,$$
$$P = 2163^{T},13,$$
$$P_1 = 2116^{T},00 \quad (*).$$

Ce sont, nous le répétons, les valeurs particulières correspondant à $N = 100$, $D = 2$.

On comprend que nous n'avons plus aucun intérêt à conserver à N et à D des valeurs indéterminées. Nous avons en effet, *à priori*, prouvé que la loi des tranformations, relativement à la variation de N, est la même que précédemment, et que la loi de transformation en D n'apparaît pas sous une forme simple; d'autre part, nous n'avons pas intérêt à laisser N indéterminé comme nous l'avons fait

(*) Il résulte de ce qui a été dit relativement à la loi de formation des dérivées par rapport à N, que si l'on avait laissé à N une valeur indéterminée, on aurait :

$$H_2 = 0{,}573N. \qquad m = 0{,}4144N. \qquad m_1 = 0{,}0089N.$$

dans la deuxième et la troisième zone pour en calculer les hauteurs, puisque la hauteur de la quatrième zone est indéfinie. Il n'y aura donc, après avoir fait les calculs dans le cas particulier qui nous occupe de $N = 100$, $D = 2$, qu'une chose intéressante à constater : ce sera de transformer notre profil comme nous l'avons fait dans le cas de la première zone, et de voir à quelle pression maximum on sera conduit.

Les équations (π et φ) se simplifient considérablement en posant $x + x_1 = u$. Elles se présentent sous la forme :

$$(36)\ (\pi) \qquad P(3dx_1 - du) - yudx_1 + \frac{3y^2}{2} = Nudu - \frac{Du^2}{2}.$$

$$(37)\ (\varphi) \qquad P_1(2du - 3dx_1) = Nudu - \frac{Du^2}{2}.$$

Elles sont considérablement plus simples que les équations qui servent au calcul des autres zones et ont mêmes seconds membres.

Il se présente donc cette circonstance favorable que pour la quatrième zone, qui deviendrait prépondérante si le mur atteignait une très-grande hauteur, les équations qui servent au calcul se simplifient beaucoup.

Nous ne referons pas ici ce que nous avons fait pour la première zone, c'est-à-dire que nous ne formerons pas un certain nombre d'équations dérivées afin de déterminer les équations du profil. Cela était possible dans le cas de la première zone, qui a une hauteur déterminée en fonction de N et de D, mais cela ne l'est plus pour la quatrième zone, qui a une hauteur indéfinie. Dans chaque cas particulier, on aura à apprécier combien il faudra prendre de termes dans les développements de x et de x_1 pour avoir une approximation suffisante. Mais dès à présent nous sommes assuré de pouvoir calculer un profil d'une hauteur indéfinie sans aucun tâtonnement dans l'emploi des formules, et cela

au moyen d'équations *du premier degré* relativement très-simples.

Du reste, les équations dérivées de (π) et de (φ) conduisent pour x et x_1 à des séries très-rapidement convergentes.

Pour en donner une idée, nous avons calculé, au moyen des deux premières équations dérivées de (π) et de (φ), les valeurs de dx et de dx_1, d^2x, d^2x_1. Nous avons trouvé :

$$\left.\begin{array}{ll} dx_1 = 0,2817, & dx = 1,0183 \\ d^2x_1 = 0,0141, & d^2x = 0,0013 \end{array}\right\} (*)$$

Nous avons construit le profil sur 40 mètres de hauteur à partir de la quatrième zone, en supposant les développements de x et de x_1 arrêtés à ces deux premiers termes, et en calculant, comme dans la première zone, des points à 10 mètres de hauteur les uns des autres. Puis nous avons déterminé directement, par une construction graphique, les pressions maximum, dans diverses sections, sur l'arête aval et sur l'arête amont, afin de nous faire une idée de l'approximation obtenue (*fig.* 6).

Voici les résultats :

Dans le plan de base de la troisième zone nous avions trouvé :

Sur l'arête aval $N = 99,4$, erreur relative $-\frac{6}{1000}$.

Sur l'arête amont $N = 100,2$, erreur relative $+\frac{2}{1000}$.

Dans la dernière section nous sommes arrivés aux chiffres suivants :

Sur l'arête aval $N = 101,9$, l'erreur relative est $+\frac{19}{1000}$.

Sur l'arête amont $N = 101,1$, l'erreur relative est $+\frac{11}{1000}$.

(*) En laissant N indéterminé on pourra écrire :

$$dx = 1,0183 \qquad dx_1 = 0,2817$$

$$d^2x = 0,13 \cdot \frac{1}{N} \quad \text{et} \quad d^2x_1 = 1,41 \cdot \frac{1}{N}$$

Toutes ces erreurs sont inférieures à celles que peut apprécier le graphique.

Nous avons ensuite déterminé par transformation le profil correspondant à N = 60 D = 2, et nous avons trouvé :

Sur l'arête aval $N = 60^{T},5$, l'erreur relative est $+\frac{8}{1000}$.

Sur l'arête amont $N = 60^{T},4$, l'erreur relative est $+\frac{6}{1000}$.

Puis nous avons déterminé le profil correspondant à D = 2 . 5 et N = 125, en supposant la loi de transformation établie pour la première zone vraie pour les trois autres. Nous avons trouvé :

Sur l'arête aval $N = 129^{T}$, l'erreur est de $\frac{32}{1000}$.

Sur l'arête amont $N = 127^{T}$, l'erreur est de $\frac{16}{1000}$.

L'approximation est donc encore supérieure à celle que peut donner le graphique. Les résultats ci-dessus sont résumés dans le tableau suivant :

N	D	COURBE	HAUTEUR du plan considéré.	PRESSIONS EN KIL. par c. m. q., le réservoir étant		CHIFFRES.
				vide.	plein.	
100	2	L M N	$97^{m},30$	10,19	10,11	Non soulignés.
60	2	S T U	$58^{m},38$	6,05	6,04	Soulignés simples.
125	2,5	X Y Z	$97^{m},30$	12,90	12,78	Soulignés doubles.

Ainsi, non-seulement pour le cas de D = 2 nos formules donnent des résultats très-exacts, mais encore quand D n'est plus égal à 2, il est suffisamment exact de déduire géométriquement par les méthodes indiquées le profil que l'on cherche, d'un autre profil convenablement choisi, dans lequel on ait D = 2, c'est-à-dire dans lequel tous les calculs que nous avons faits soient directement applicables.

Résultats généraux. — Ponr nous résumer, nous dirons :

On peut supposer les murs dont il a été question jusqu'ici divisés en deux catégories :

Ceux dont la hauteur est inférieure à $\frac{N}{D}$, et ceux dont la hauteur est supérieure à $\frac{N}{D}$. (*)

Pour les premiers, bien que théoriquement il y aurait diminution de section en donnant à leur profil un fruit à l'amont, il convient de prendre pour parement amont une droite verticale, et cela est toujours possible sur toute la hauteur sans qu'il y ait à craindre que le mur ne s'écrase sous son propre poids. Le profil sera déterminé à l'aval par une courbe dont l'équation est :

$$x = \sqrt{\frac{1}{2D}}\left[y + 0{,}285714 . \frac{D}{N} y^2 + 0{,}08080808 . \frac{D^2}{N^2} y^3 + \right.$$
$$\left. + 0{,}01856 \frac{D^3}{N^3} y^4 + 0{,}0010 . \frac{D^4}{N^4} y^5 \right].$$

Cette équation, étant donnée en fonction de D et de N, permet de calculer le profil dans tous les cas. C'est donc l'équation générale de la courbe aval. Le nombre de termes écrits ci-dessus suffira dans tous les cas pour avoir une approximation aussi grande que possible, et même on n'aura besoin de les prendre tous que quand la hauteur du mur approchera de la hauteur maximum, c'est-à-dire de $\frac{N}{D}$. On pourra se contenter de calculer des points situés

(*) Nous pourrions dire $1{,}07 \times \frac{N}{D}$, au lieu de $\frac{N}{D}$, car en pratique on trouvera toujours plus de $\frac{N}{D}$. Mais le résultat est plus facile à retenir avec $\frac{N}{D}$, et il est suffisamment approché pour être employé sans inconvénient.

à une distance verticale les uns des autres égale à $\frac{N}{10}$. On peut même les espacer davantage sans crainte.

Un profil une fois construit avec des valeurs déterminées de N, on en déduira tous les autres, quand N et D varieront, par des constructions géométriques simples, consistant soit à construire une courbe semblable à une courbe donnée, soit à projeter une courbe sur un axe.

Pour les murs dont la hauteur est supérieure à $\frac{N}{D}$, le profil se composera d'une première partie d'une hauteur égale à $\frac{N}{D}$ jouissant des propriétés indiquées ci-dessus, et d'une autre partie dans laquelle il faudra se mettre en courbe à l'amont pour résister à l'écrasement par le poids.

Pour cette seconde partie, il serait difficile de représenter les résultats par des formules générales, parce que la loi de formation des dérivées successives de x et de x_1, qui reste la même par rapport à N, ne se présente plus sous une forme simple par rapport à D. En particularisant la question et en la réduisant aux cas de $D = 2$, on trouve les résultats suivants :

Cette seconde partie a d'abord pour profil à l'aval et à l'amont les deux droites :

$$x - L = (y - H) \times 0{,}92225, \qquad x_1 = 0{,}2175\,(y - H),$$

équations dans lesquelles il faut faire :

$$H = 0{,}536 \times N \quad \text{et} \quad L = 0{,}382 \times N.$$

Ces droites pourront être considérées comme formant le profil sur une hauteur y', telle que l'on ait :

$$y' = 0{,}026 . N.$$

Le profil sera ensuite formé par les deux droites

$$x - l = 0{,}945(y - H_1), \qquad x_1 - l_1 = 0{,}263(y - H_1),$$

dans lesquelles il faut faire :

$$H_1 = 0{,}562 . N ; \quad l = 0{,}4059785N ; \quad l_1 = 0{,}005695N.$$

Ces droites pourront être prises comme profil sur une hauteur y'', telle que l'on ait :

$$x''' = 0{,}011N.$$

Le profil sera à partir de ce point jusqu'à l'infini formé des deux courbes suivantes :

$$x - m = 1{,}0183\,(y - H_2) + 0{,}065 . \frac{1}{N}\,\overline{(y - H_2)^2} + \text{etc....}$$

$$x_1 - m_1 = 0{,}2817\,(y - H_2) + 0{,}705 . \frac{1}{N}\,\overline{(y - H_2)^2} + \text{etc....}$$

dans lesquelles il faudra poser :

$$H_2 = 0{,}573N ; \quad m = 0{,}4144N ; \quad m_1 = 0{,}0089N.$$

Le nombre de termes qu'il faudra prendre dans chaque développement variera avec la hauteur à atteindre, et l'on peut considérer qu'il est suffisamment exact d'ajouter un terme aux développements chaque fois qu'on s'élève d'une hauteur égale à $\frac{N}{5}$.

Un profil une fois calculé avec cette valeur particulière de $D = 2$ et une valeur quelconque de N, si l'on en déduit un autre dans lequel ces valeurs de D et de N changent, en employant pour cela les procédés qui sont rigoureusement vrais pour les murs plus petits que $\frac{N}{D}$, on arrive à des profils qui sont très-suffisamment exacts pour qu'on n'ait aucune crainte à concevoir sur les pressions maximum supportées par les arêtes aval et amont. Elles ne différeront pas sensiblement de celles qu'on aurait si les deux lois de transformation, au lieu d'une seule, continuaient à être réellement vraies pour toutes les hauteurs.

On peut donc considérer les formules précédentes comme

constituant une solution générale ; mais au besoin et si l'on voulait encore plus d'exactitude, les formules générales que nous avons écrites successivement suffiraient à tous les besoins.

Quand aux termes qu'il pourra être nécessaire de calculer dans les valeurs de $x - m$ et de $x_1 - m_1$, ils se déduiront de systèmes d'équations du premier degré à deux inconnues, très-simples à former et très-simples à résoudre avec les éléments qui sont déjà fournis par nos calculs, et qui ne seraient pas même compliquées à obtenir si l'on n'avait à sa disposition aucun des éléments dont nous parlons.

Murs dont l'épaisseur en couronne n'est pas nulle. — Jusqu'à présent nous avons admis que l'épaisseur du mur pouvait être nulle en couronne ; il n'en est rien cependant, et les nécessités de la pratique obligent à donner aux ouvrages une épaisseur déterminée par les besoins auxquels doit satisfaire le mur.

L'épaisseur en couronne ne peut guère avoir que trois buts différents : résister au choc des corps flottants dans les barrages de prise d'eau ; résister à l'action des vagues dans les grands réservoirs, ou enfin servir de passage et permettre la circulation, même pour les voitures.

Pour résister au choc des corps flottants, une épaisseur variant de $0^m,50$ à $0^m,80$ paraît suffire. Pour les lames, l'épaisseur de 5 mètres, adoptée au Furens, et que l'expérience a démontrée suffisante, semble devoir être considérée à peu près comme un maximum. Cette épaisseur est du reste largement suffisante pour toute espèce de circulation.

Nous pensons donc qu'on peut poser comme règle à peu près générale que les murs que nous considérons auront une épaisseur en couronne qui sera comprise entre $0^m,50$ et $0^m,80$, ou bien entre 4 mètres et 5 mètres.

Nous réservons néanmoins les murs qui peuvent sup-

porter, sans être noyés, une forte crue, pour lesquels, comme nous le verrons plus tard, les conditions mêmes de résistance peuvent conduire à donner une épaisseur plus considérable que celle qui serait nécessaire pour résister aux corps flottants.

Il peut néanmoins se produire certains cas où l'épaisseur en couronne ne rentre pas dans les chiffres que nous avons fixés. Nous ne ferons donc pas immédiatement de restriction sur cette épaisseur.

Soit a l'épaisseur que l'on veut avoir.

Le mur sera alors terminé à sa partie supérieure par un massif rectangulaire d'une hauteur h telle que pour $y=h$ la pression soit N sur l'arête aval.

Comment calculera-t-on N? Évidemment au moyen d'une des formules déjà trouvées, et il suffit de faire disparaître *à priori* l'indécision qui pourrait se produire pour savoir si l'on doit employer l'une ou l'autre.

Considérons la courbe de pression à l'eau correspondant à ce massif rectangulaire. A la hauteur h, n aura une certaine valeur qui pourra être plus grande ou plus petite qu'un tiers.

Dans le premier cas, la pression sur l'arête aval serait donnée par la formule :

$$N = \frac{2}{3} D \times \frac{A^2}{Ax - AX - \frac{y^3}{6D}};$$

Dans le second, par la formule : $Nx^2 = y^3 - 2P_1x + 6DAX$ (*).

Dans le cas actuel on a :

$$y = h, \quad x = a, \quad A = ah, \quad X = \frac{a}{2}.$$

(*) Cette formule se déduit de l'équation (ω), en y faisant $x_1 = 0$.

Si on introduit ces valeurs dans les deux formules, elles deviennent :

(36) $$N = \frac{4D^2a^2h}{3Da^2 - h^2}.$$

(37) $$Na^2 = h^2 + Da^2h.$$

Si nous exprimons qu'elles sont satisfaites par les mêmes valeurs de a et de h, nous aurons, en les résolvant, les valeurs de a et de h qui correspondent au cas de $n = \frac{1}{3}$.

L'équation (37) donne :

$$a^2 = \frac{h^3}{N - Dh}.$$

Portant cette valeur de a^2 dans l'équation (36) il vient :

$$N\left[\frac{3Dh^3}{N - Dh} - h^2\right] = 4D^2h \times \frac{h^3}{(N - Dh)},$$

$$[2Dh - N]^2 = 0,$$

d'où

(38) $$h = \frac{N}{2D},$$

(39) $$a = \frac{N}{2D\sqrt{D}}.$$

Ainsi donc, si a est plus petit que $\frac{N}{2D\sqrt{D}}$, h se calculera par la formule (36), et si a est plus grand, il faudra se servir de la formule (37).

L'indétermination est donc levée (*).

Si on appelle M le point dont les coordonnées sont a et h, pour des valeurs déterminées de N et de D, a variant, le

(*) Ce résultat peut s'établir directement de la façon la plus simple :

Soit AB une section d'un massif vertical rectangulaire soumis à

point M décrira un lieu formé de deux portions de courbes, l'une partant de zéro jusqu'au point qui a pour coordonnées $h=\frac{N}{2D}$ et $a=\frac{h}{2D\sqrt{D}}$, point que nous appellerons M_1, et qui est représentée par l'équation (36), l'autre représentée par l'équation (37), partant du point M_1 et asymptote à $h=\frac{N}{D}$, comme le montre l'équation (37).

Ce dernier résultat était du reste évident *à priori*, puisqu'un massif rectangulaire s'écrase sous son propre poids par $h=\frac{N}{D}$.

L'équation (36) montre que quand a tend vers zéro le rapport $\frac{a}{h}$ tend vers $\sqrt{\frac{1}{3D}}$, la courbe lieu des points M est donc toujours d'abord à l'intérieur du profil d'épaisseur en couronne nulle, correspondant à la même valeur de D, puisque la tangente à l'origine de ce profil est égale à $\sqrt{\frac{1}{2D}}$. Mais si a devient infini, le point M est forcément en dehors du profil d'épaisseur en couronne nulle. Il y a donc une valeur de a pour laquelle le point M se trouve sur le profil. Pour trouver ce point, il faut d'abord s'assurer s'il est compris entre l'origine et le point M_1 ou au delà du point M_1.

---

la poussée de l'eau. On a :

$$EC=\frac{h^3}{6Dah}=\frac{h^2}{6Da}.$$

Pour que $N=\frac{1}{3}$, il faut que $EC=\frac{a}{6}$, ce qui donne $\frac{a}{6}=\frac{h^2}{6Da}$ ou $h^2=Da^2$, ce qui est bien ce que nous avons trouvé. C'est une vérification de l'exactitude des formules générales.

L'équation du profil d'épaisseur nulle en couronne peut s'écrire :

$$\sqrt{2D} \times \frac{Dx}{N} = [Y + 0{,}285\ldots\ldots Y^2 + 0{,}0808\ldots\ldots Y^3 +],$$

Y étant égal à $\frac{Dy}{N}$.

Faisons $y = \frac{N}{2D}$, qui est l'ordonnée du point M_1 ou, ce qui revient au même $Y = \frac{1}{2}$. On a :

$$x = \frac{N}{2D\sqrt{D}} \times \sqrt{2}\left[\frac{1}{2} + \frac{1}{4}\,0{,}285 + \frac{1}{8}\,0{,}0808\ldots\ldots\right].$$

Le multiplicateur du terme $\frac{N}{2D\sqrt{D}}$ est plus petit que 1. Le point M_1 est donc en dehors du profil ; par suite, le point cherché s'obtiendra en combinant l'équation qui donne x avec l'équation (36). Cette équation peut s'écrire :

$$\sqrt{D}\,\frac{Da}{N} = \frac{h_1}{\sqrt{3 - 4h_1}},$$

en posant : $h_1 = \frac{Dh}{N}$.

Si nous faisons dans l'équation qui donne x, $x = a$ et $y = h$, ou ce qui revient au même $Y = h_1$, nous aurons en divisant membre à membre :

$$\sqrt{2} = \left[\sqrt{3 - 4h_1}\right][1 + 0{,}285715h_1 + 0{,}080808h_1^2 + \ldots\ldots],$$

équation qui est indépendante de N et de D et qui est très-sensiblement satisfaite pour $h_1 = 0{,}4$, ce qui donne :

(40) $$h = 0{,}4 \cdot \frac{N}{D}.$$

Cette valeur de h portée dans l'équation (36) donne:

$$a = 0,338 \frac{N}{D\sqrt{D}}. \tag{41}$$

Ainsi donc, si la valeur qu'on s'est donnée pour a est voisine de celle qui correspond à l'équation (41), le profil différera peu, à la hauteur h, de celui qui correspondrait à $a=0$. D'autre part, à mesure que la hauteur augmente, les deux profils tendent à se confondre, puisque ce qu'on a ajouté à la partie supérieure devient nul devant la surface totale de la section. On aura donc un profil qui différera très-peu de celui d'épaisseur nulle depuis la hauteur h, et l'on pourra sans inconvénient conserver le premier tout au moins tant qu'il ne s'agira que de comparer des profils entre eux.

La formule (41) donne les chiffres suivants en y faisant successivement

$$D = 2 \text{ et } N = 100,\quad N = 80,\quad N = 60.$$
$$a = 11,9,\quad a = 9,5\quad a = 7,15.$$

Ce sera donc quand a aura des valeurs voisines de ces chiffres que notre raisonnement s'appliquera.

Voyons ce qui va se passer si a diffère notablement de ces chiffres.

Il faut distinguer deux cas : celui où a en diffère en plus et celui où a en diffère en moins. Il est clair en effet que si a diminue indéfiniment, on tend à rentrer dans le cas de l'épaisseur nulle en couronne, tandis que s'il augmente indéfiniment, l'importance de la partie supérieure devient prépondérante jusqu'à une hauteur qui peut être grande.

Soit OA un profil d'épaisseur nulle en couronne (*fig.* 7). Soit $a = OB$ et tel que le point M soit à l'intérieur du profil. On aura un profil tel que OBMC. La différence entre les deux profils sera égale à surface OBD — surface ADMC.

En tous cas, cette différence sera inférieure à surface OBD. Cette surface sera maximum quand le point M sera confondu avec le point D, c'est-à-dire quand on aura $a = 0{,}338 \frac{N}{D\sqrt{D}}$. La tangente OT au profil OA faisant avec la verticale un angle dont la tangente est $\sqrt{\frac{1}{2D}}$, cette surface est plus petite que $\frac{a^2}{2}\sqrt{2D}$ ou que

$$\overline{0{,}338}^2 \frac{N^2}{D^3} \times \frac{1}{2} \times \sqrt{2D};$$

ce qui, pour $N = 60$, $D = 2$, donne à peu près 47 mètres carrés. La différence est donc très-faible, puisque nous avons négligé de retrancher la surface CMDA, et elle sera négligeable quand il s'agira de comparaison entre divers profils, dès que ces profils auront une certaine hauteur.

Si au contraire on donne à a une valeur OB′ telle que le point M′ soit en dehors du profil, la différence entre les deux profils sera exprimée par surface OB′D′ + surface C′M′D′A. Or nous ne connaissons pas cette dernière ; nous ne pouvons donc pas, comme dans le cas précédent, fixer *à priori* un chiffre auquel la différence entre les deux profils soit certainement inférieure. Nous ne savons même pas si la courbe M′C′ coupera ou ne coupera pas la courbe OA.

Nous avons construit (*fig.* 8) la courbe des points M pour $N = 100$, $D = 2$. Sur cette épure nous avons reporté le profil correspondant à $N = 100$, $D = 2$, avec une épaisseur nulle en couronne. Cette figure montre que si l'épaisseur en couronne ne dépasse pas 16 ou 17 mètres, le profil ne sera pas modifié sensiblement ; mais qu'au contraire à partir de cette valeur, on ne peut plus raisonnablement se faire une idée de la différence entre les deux profils.

On peut donc dire que toutes les fois que a n'aura pas

une valeur tout à fait anormale, on pourra se contenter de comparer les profils d'épaisseur nulle en couronne.

Si, par hasard, a avait une valeur anormale, il faudrait calculer directement le profil, ce qui se ferait facilement au moyen de nos formules. Dans ce cas, du reste, le calcul se simplifierait. En effet a étant grand, nous savons que n commencera par être plus petit que $\frac{1}{3}$. Dans la section d'écrasement on aura $n = n_1$, n_1 sera aussi plus petit que $\frac{1}{3}$. Le profil se composera donc de deux zones au lieu de quatre, l'une dans laquelle le parement amont sera vertical, et l'autre dans laquelle il faudra se mettre en courbe; mais dans l'une comme dans l'autre les pressions se calculeront au moyen de formules de la forme $\frac{P}{\Omega}(1 + 3n)$. En outre h étant lui-même assez grand, la section d'écrasement ne sera pas éloignée du plan $y = h$, et l'on n'aura besoin de calculer qu'un très-petit nombre de termes du développement.

Le calcul se résumera donc presque entièrement à la détermination de ce que nous avions appelé la quatrième zone dans les murs ayant une épaisseur en couronne nulle.

Nous allons en donner un exemple :

Soit pour $N = 100$ et $D = 2$, $a = 50$ mètres. Si dans la formule (39) on fait $N = 100$, $D = 2$, on trouve $a = 17^m,70$; la valeur que nous nous donnons ici étant plus grande, h devra être calculée par la formule (37), qui donne $h = 38^m,60$

n commençant par être plus petit que $\frac{1}{3}$, la pression maximum sur l'arête aval se calculera au moyen de la formule π, dans laquelle il faudra faire $x_1 = 0$, il vient alors:

$$(42) \quad -2Px + 6DAX + y^3 = Nx^2 \text{ avec } P = P_1 = DA.$$

Dérivons

$$
(42)\quad
\begin{cases}
dx(Nx+P) = \dfrac{3y^2 + Dx^2}{2}, \\
d^2x(Nx+P) = 3y - \overline{Ndx}^2, \\
d^3x(Nx+P) = 3 - 3Ndxd^2x - Dxd^2x, \\
d^4x(Nx+P) = -4Ndxd^3x - \overline{3Nd^2x}^2 - 2Dxd^3x - Ddxd^2x. \\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{cases}
$$

Ces équations sont, comme on le voit, très-simples; si on y fait $a = 50$, $h = 38^m,60$, on trouve :

$$
\begin{aligned}
dx &= 0,53409, & dx &= 0,53409, \\
d^2x &= 0,00984, & \frac{d^2x}{1.2} &= 0,00492, \\
d^3x &= 0,000049, & \frac{d^3x}{1.2.3} &= 0,0000008265, \\
-d^4x &= 0,00000344. & -\frac{d^4x}{1.2.3.4} &= 0,0000001433.
\end{aligned}
$$

Ce qui détermine le profil jusqu'à la section d'écrasement.

Dans le cas particulier qui nous occupe, il n'est pas nécessaire de pousser bien loin le calcul.

Supposons en effet qu'on fasse $y - h = 10$ mètres, on voit de suite sur l'épure que $n_1 > \frac{1}{10}$, la pression sur l'arête amont serait donc plus grande que 100. Donc la section d'écrasement est déjà dépassée. Par suite on n'aura à calculer que le premier terme ou les deux premiers tout au plus. En déterminant graphiquement la section d'écrasement, on trouve $y - h = 5^m,40$ (*fig.* 9). A partir de ce point le profil se calcule comme nous avons calculé la quatrième zone des profils d'épaisseur en couronne nulle.

Revenons au cas où a a des valeurs normales.

Il est entendu que la comparaison se fera comme si a

était nulle, mais une fois que nous aurons choisi une certaine espèce de matériaux comme étant les plus avantageux, faudra-t-il, oui ou non, calculer le profil exact, ou bien suffira-t-il de descendre verticalement jusqu'à la rencontre du profil en couronne nulle?

Supposons que a soit égal à 1 mètre, si on descend verticalement jusqu'au profil d'épaisseur en couronne nulle, on ajoute à celui-ci un triangle curviligne qui pour $N = 100$, $D = 2$, est de moins de 1 mètre carré ; on est donc sûr qu'en calculant le profil exact, quelle que soit la hauteur, on aura un profil qui réaliserait une économie de moins de 1 mètre carré; il est clair que c'est tout à fait insignifiant dès que le profil a une certaine hauteur.

Supposons que a soit égal à 10 mètres, par exemple, pour $N = 100$, $D = 2$, le triangle curviligne ajouté en descendant verticalement jusqu'au profil d'épaisseur nulle en couronne est d'environ 90 mètres carrés ; si en calculant le profil exact, on arrive à regagner une fraction notable de ces 90 mètres, cela peut en valoir la peine, surtout s'il arrive, ce qu'on peut considérer comme probable, que le rapprochement entre les deux profils s'effectue rapidement. C'est précisément ce qui arrive, et nous allons le montrer par un exemple.

Nous avons calculé le profil correspondant à $N = 100$, $D = 2$, $a = 5$. Dans ce cas on a $h = 10^{m},41$.

Si l'on calcule au moyen des formules précédemments trouvées les valeurs de dx, d^2x, etc..., prises pour $y = 10^{m},41$, on trouve :

$$dx = 0,4136791, \qquad dx = 0,4136791,$$

$$d^2x = 0,0443624, \qquad \frac{d^2x}{1.2} = 0,0221812,$$

$$-d^3x = 0,005391912, \qquad \frac{d^3x}{1.2.3} = 0,0008986,$$

$$d^4x = 0,0001775616, \qquad \frac{d^4x}{1.2.3.4} = 0,0000073942$$

$$d^5x = 0,00013383, \qquad \frac{d^5x}{1.2.3.4.5} = 0,000001113,$$

$$-d^6x = 0,00002088. \qquad -\frac{d^6x}{1.2.3.4.5.6} = 0,000000029.$$

La *fig.* 10 montre le profil qui en résulte, comparé au profil d'épaisseur nulle. Nous avons calculé trois points du premier profil, puis nous les avons supposés confondus à la hauteur de 50 mètres.

L'épure montre que le premier profil a une surface qui ne dépasse que de 1 mètre carré seulement le second. Ceci montre deux choses : d'abord que nous n'aurions aucun avantage à séparer plus longtemps des deux profils ; ensuite que l'épaisseur de 5 mètres en couronne n'augmente pas sensiblement la surface du profil, dès qu'il atteint une certaine hauteur.

Il sera donc bon, quand on se sera arrêté à un profil déterminé, de calculer ensuite exactement ce profil. Dans le cas que nous venons de considérer, il y va d'une économie de 25 mètres carrés par mètre courant, ce qui en vaut la peine.

Nous avons vérifié directement l'exactitude des calculs, en cherchant la pression sur l'arête aval en différents points, et nous avons trouvé successivement $9^k,98$ — $10^k,03$ — $9^k,98$ — $9^k,89$; il est impossible d'être plus exact. Ce dernier résultat, $9^k,89$, s'explique, puisqu'en supposant les deux profils confondus à 50 mètres, on a augmenté la base du profil noir, ce qui a diminué la pression.

Nous avons donc atteint le but que nous nous proposions, c'est-à-dire que nous pourrions dans tous les cas déterminer rapidement quels matériaux nous conduiront au profil le plus avantageux, et calculer ensuite le profil aussi exactement que nous voudrons.

Résistance au glissement. — Quelques mots maintenant de la condition de résistance au glissement.

Elle est exprimée par $fP > \frac{y^2}{2}$, ou bien $f > \frac{y^2}{2DA}$, en négligeant la cohésion.

Dans le profil d'épaisseur nulle en couronne, A est égal à $y^2 \times \varphi(y)$.

$\varphi(y)$ étant une fonction croissante avec y, on doit avoir

$$f > \frac{1}{2D\varphi(y)}.$$

Le second membre sera maximum quand y sera nul. Pour $y = 0$ le rapport $\frac{A}{y^2}$ tend vers $\sqrt{\frac{1}{2D}}$. Il suffira donc que l'on ait $f > \frac{1}{D\sqrt{\frac{1}{2D}}}$, inégalité qui pourrait ne pas être satisfaite.

Si le profil a une épaisseur a en couronne, le point faible, au point de vue de la résistance au glissement, sera naturellement à la hauteur $y = h$. En ce point on a : $A = ah$, on devra donc avoir

$$f > \frac{h^2}{2DAh} \quad \text{ou} \quad f > \frac{h}{2Da}.$$

La formule (36) donne $\frac{h^2}{a^2} = \frac{3DN - 4D^2h}{N}$, le rapport $\frac{h^2}{a^2}$

sera donc maximum, quand on aura $h = 0$, auquel cas on a $\frac{h}{a} = \sqrt{3D}$; il vient alors :

$$f > \frac{\sqrt{3D}}{2D} \quad \text{ou} \quad f > \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{D}},$$

inégalité qui sera toujours satisfaite, même sans tenir compte de la cohésion des mortiers.

Il n'y a donc pas à s'occuper de cette condition pour cette première catégorie des murs.

Explications sur les épures. — Donnons enfin quelques explications sur les épures.

La *fig.* 5 donne le détail d'un profil correspondant à $N = 100$, $D = 2$, dans lequel les courbes de pressions ont été déterminées d'abord par le calcul. Les cotes inscrites sont les valeurs trouvées directement. Ces mêmes points ont ensuite été déterminés par une construction géométrique. La coïncidence est parfaite. Cette même figure donne la détermination graphique de la section d'écrasement et des sections de passage.

La *fig.* 6 donne un profil pour $N = 100$ et $D = 2$ jusqu'à la hauteur de $97^m,30$. On a vérifié sur cette épure les pressions maximum dans le plan de la base inférieure et dans le plan de base de la troisième zone. La légende montre que les erreurs sont insignifiantes. Sur cette même épure on a figuré une courbe — · — · — qui représente le profil correspondant à $N = 60$, $D = 2$. On y a déterminé directement les pressions maximum dans le plan de base. Les erreurs sont encore insignifiantes.

En + + + + + on a tracé une courbe obtenue en réduisant toutes les abscisses dans le rapport de $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2.5}}$. Cette

courbe serait donc le profil correspondant à $N = 100 \times \frac{2.5}{2} = 125$ et $D = 2.5$, si les transformations, rigoureusement exactes pour la première zone, l'étaient pour les trois autres. La détermination directe des pressions maximum dans le plan de base montre que les pressions ne diffèrent pas de 125 d'une quantité sensiblement supérieure aux erreurs commises dans les autres profils ; que par suite cette courbe peut être très-bien prise pour profil correspondant à $D = 2$, $N = 125$.

Sur la *fig.* 11 nous avons construit une série de profils correspondant à des valeurs variables de N et de D. Nous les avons réunis sur une même épure pour qu'on voie bien la manière dont les profils varient avec D et N. En outre, cette série de courbes permet, dans bien des cas, de juger au premier coup d'œil quel sera le profil à adopter, et à ce sujet nous allons donner un exemple de cette comparaison.

Supposons que nous ayons à construire un mur de 60 mètres de hauteur. Nous avons par exemple à choisir entre deux natures de matériaux, les uns correspondant à $N = 60$, $D = 2$, et les autres à $N = 125$, $D = 2.5$. Il résulte de nos épures que la surface du premier profil sera de 2.040 mètres carrés (chiffre rond), l'autre conduit à une surface de 1.040 mètres carrés. Différence 1.000 mètres carrés.

Soit XX_1 les distances en kilomètres auxquelles se trouvent les deux carrières. Le transport de 1 mètre cube de pierre sera pour l'une $\alpha + \beta X$, et pour l'autre $\alpha + \beta X_1$. Soit p le prix de 1 mètre cube de maçonnerie, la pierre étant à pied d'œuvre. Le profil coûtera :

$$(p + \alpha + \beta X) \times 2040 \text{ dans le premier cas,}$$
$$(p + \alpha + \beta X_1) \times 1040 \text{ dans le second.}$$

Supposons $p = 16$ francs, $\alpha = 0,40$ et $\beta = 0,5$, qui sont à peu près les valeurs moyennes en Corse.

On voit que les matériaux les plus denses seront les plus avantageux tant que l'on aura :

$$(16 + 0.40 + 0.50\,X_1)\,1040 < (16 + 0.40 + 0.50X)\,2040$$

ou $$0.50(1040\,X_1 - 2040\,X) < 16\,400$$

ou enfin $$X_1 - 19X < 31.5.$$

Si nous supposons $X = 1$ kilomètre, on trouve :

$$X_1 < 33^k,4.$$

Ainsi, jusqu'à 33 kilomètres, il serait avantageux d'aller chercher les matériaux les plus durs.

Si X, étant égal à 1 kil. X_1 était égal à 10 kilomètres, l'économie serait représentée par :

$$(16.4 + 0.50)2040 - (16.4 + 5)1040 = 12\,220^f,$$

et cela pour chaque mètre courant de l'ouvrage.

L'exemple est plus frappant si nous augmentons X et X_1 de la même quantité. Soit par exemple $X = 20$, $X_1 = 29$. La différence est $(16,4 + 10)\,2040 - (16,4 + 14,5)\,1040 = 21.720$ francs.

Il n'est pas besoin d'insister sur ces chiffres pour en démontrer l'importance. Si on donne aux constantes p, α, β, d'autres valeurs que les nôtres, les résultats pourront varier un peu, mais on arrivera toujours à la même conclusion, à savoir :

Qu'il vaut généralement mieux aller loin pour se procurer des matériaux denses et résistants, plutôt que prendre ceux qu'on a sous la main, s'ils ne peuvent résister qu'à une faible pression.

Dans chaque cas particulier, du reste, on saura immédiatement à quoi s'en tenir par l'inspection des profils.

La *fig.* 10 représente, comme nous l'avons déjà dit,

la comparaison entre les deux profils correspondant à $N = 100$, $D = 2$ que l'on obtient si l'on fait sucessivement $a = 0$, $a = 5$.

Sur l'épure (12), nous avons tracé en noir plein le profil donné par M. l'ingénieur Delocre pour le cas d'une vallée indéfiniment large. Puis nous avons représenté en pointillé le profil calculé d'après nos formules pour les mêmes valeurs de N et de D, c'est-à-dire pour $N = 60$, $D = 2$. Ces deux profils ne sont pas identiques, bien qu'ils se ressemblent beaucoup. Ceci doit probablement tenir à ce que les approximations de M. Delocre sont généralement par excès et les nôtres par défaut, de telle sorte que ses pressions sont peut-être un peu plus petites que 60, et les nôtres un peu plus grandes. Cela tient aussi à ce que la partie supérieure n'est pas rectangulaire, et que les points calculés sont plus éloignés que les nôtres.

Nous avons déterminé les pressions au poids dans le profil de M. Delocre, et nous avons trouvé :

A la hauteur de $26^m = 5^k,75$
— de $38^m = 5,90$
— de $50^m = 5,95$

M. Delocre indique :

A la hauteur de $26^m = 5^k,94619$
— de $38^m = 6,00088$
— de $50^m = 6,00380$

Comme pression à l'eau, à la hauteur de 50 mètres, nous avons trouvé $6^k,07$.

Voici pourquoi nous avons fait ces vérifications; c'est uniquement pour nous rendre compte des approximations que peut donner le graphique. L'épure a été faite avec soin,

à une très-grande échelle et à plusieurs reprises. Malgré cela, nous avons à la hauteur de 26 mètres une différence supérieure aux erreurs trouvées jusqu'ici. Donc, et c'est là ce que nous voulions établir, les différences que nous avons eues dans nos épures entre le calcul et le graphique sont encore inférieures à celles qui résultent forcément des imperfections des dessins.

Les cotes soulignées d'un trait sont celles que nous avons graphiquement déterminées, et sur lesquelles par conséquent peuvent porter les erreurs.

La *fig.* 13 donne en noir plein la coupe d'un barrage qui a été exécuté au pénitencier de Chiavari près d Ajaccio. Cet ouvrage a une importance suffisante pour qu'il puisse y avoir intérêt à le signaler. Il a environ 55 mètres de longueur, et il détermine dans la vallée qu'il barre un réservoir de plus de 23.000 mètres cubes de capacité. Nous avons appliqué à ce profil nos formules pour voir l'économie qu'on aurait pu faire. Pour cela, nous avons commencé par déterminer graphiquement la pression à l'eau dans le plan de base et nous avons trouvé 5 kilogrammes par centimètre carré.

Le barrage a 6 mètres d'épaisseur dans la section supérieure médiane. Si on cherche un profil d'égale résistance, ayant 6 mètres d'épaisseur en couronne et correspondant au cas de $D = 2$, $N = 50$, on trouve le profil ABCDE, dont la surface est de 135 mètres carrés, tandis que la section du profil ABFE est de 170 mètres carrés (chiffre rond), différence, 35 mètres carrés. Mais les 6 mètres d'épaisseur en couronne n'ont certainement pas été commandés par les nécessités pratiques, et la preuve, c'est que le barrage n'a que 2 mètres d'épaisseur en couronne à ses extrémités. C'est probablement la raison de stabilité qui a conduit à lui donner cette épaisseur dans la partie où la hauteur est maximum. Si on construit le profil théorique correspondant au cas de $N = 50$, $D = 2$, avec $a = 2$ mètres, on

trouve le profil AKLCDE, dont la surface n'est plus que de 107 mètres carrés, différence avec le profil adopté, 63 mètres carrés (*).

Bastia, 15 juin 1874.

(*) Nous avions l'intention de terminer cette partie de notre travail en nous occupant des murs établis dans les vallées étroites, puis de voir les modifications à introduire dans nos calculs dans le cas où le couronnement n'est pas à la hauteur du plan d'eau amont. Nous aurions ainsi terminé ce qui est relatif aux murs fondés sur un sol inaffouillable et incompressible. Mais cette étude ayant pris plus de développement que nous ne le pensions, nous préférons la diviser. Il est donc entendu que nous n'avons encore étudié qu'une catégorie très-restreinte de murs, à savoir :

Ceux qui sont fondés sur rocher, dans une vallée indéfiniment large, et qui ont leur couronnement au niveau du plan d'eau amont.

Dans un mémoire que nous présenterons prochainement, nous appliquerons les formules établies précédemment à l'étude de tous les autres cas, ainsi qu'à l'étude des évidements intérieurs.

N° 47

NOTE
SUR
LA CONSTRUCTION DES VOUTES SANS CINTRAGE
PENDANT LA PÉRIODE BYZANTINE

Par M. CHOISY, ingénieur des ponts et chaussées.

Une mission en Orient que l'administration des ponts et chaussées a bien voulu me confier pour compléter des travaux antérieurs sur l'art de bâtir chez les anciens, m'a permis d'observer certains types de voûtes byzantines dont la structure essentiellement simple paraît offrir aujourd'hui même un intérêt pratique : ce sont des voûtes exécutées sans aucun support auxiliaire. Les Romains d'Occident s'étaient attachés à réduire les frais de cintrage; les Romains d'Orient, et après eux les Byzantins leurs successeurs directs, ont fait un dernier pas dans cette voie : ils sont parvenus à s'affranchir absolument de tout cintre. Je n'entreprends point d'exposer l'histoire de leurs méthodes, elle m'entraînerait à des discussions de dates, de textes et de traditions qui sortent du cadre d'une publication technique : je dois me contenter ici d'indiquer sommairement l'esprit des procédés et le principe de leurs applications.

I. — VOUTES EN BERCEAU.

L'artifice qui permit aux Byzantins de se passer ainsi de cintrage, consiste à exécuter les voûtes par tranches

en briques de champ. Voici, dans un exemple simple, la manière dont ils procédaient.

Je suppose qu'il s'agisse (Pl. XXI, *fig.* 4) de construire en briques un berceau terminé par un mur de tête *ab* : au lieu de maçonner par lits rayonnants, on chemine par tranches verticales. Les briques de la première tranche sont appliquées contre le mur de tête *ab* à l'aide de mortier à prise rapide. Tant que la tranche demeure inachevée, les briques se maintiennent par leur seule adhérence au mortier ; mais une fois la tranche terminée, elle constitue un arceau parfait, capable de résister comme une voûte ordinaire : c'est un premier tronçon du berceau. A ce tronçon on en accolera un second comme on a fait adhérer le premier au mur de tête, et ainsi de suite.

Si le mortier est trop faible pour que les briques se maintiennent momentanément par simple adhérence, on atténue l'effort qui les porte au glissement, en renonçant à construire par tranches exactement verticales, pour procéder par tranches plus ou moins inclinées. (Voir la projection *fig.* 5 et la perspective *fig.* 1.)

Si l'on veut réduire davantage encore la tendance des briques à se détacher en glissant, on donnera aux tranches une légère conicité (*fig.* 10 et 11), et la voûte se composera, non plus d'anneaux à faces planes qui s'accolent, mais de couches tronc-coniques qui s'emboîtent.

En somme et quelle que soit la forme attribuée aux tranches, les briques sont temporairement retenues en place par le mortier, au lieu d'être portées sur un cintre : tel est le principe ; là réside la différence entre les berceaux byzantins et les nôtres.

La tradition de ce mode de structure s'est conservée dans les régions de l'Asie centrale, d'où il paraît tirer son origine. On bâtit aujourd'hui à Mossoul (*) comme les

(*) Je dois ce renseignement à l'obligeance de M. Guise, consul

Byzantins de Salonique ou d'Éphèse bâtissaient il y a douze siècles; et l'interprétation si claire d'ailleurs des ruines trouve dans les pratiques contemporaines une vérification décisive. Est-il besoin de faire ressortir les avantages que nous pouvons nous-mêmes attendre de ces procédés sans cintrage, surtout dans les travaux en sous-œuvre, les voûtes de nos tunnels, tant de cas enfin où l'emploi des cintres n'est pas seulement une dépense, mais une cause d'encombrement et une gêne?

Ces généralités admises, venons aux détails d'application :

1° Les briques employées sont d'ordinaire assez minces et fort grandes, double circonstance qui en facilitait l'adhérence; les plus petites ont rarement moins de $0^m,30$ de côté, et les plus épaisses ne dépassent guère $0^m,04$. Quant au mortier qui les relie, il se compose de chaux grasse et de ciment de tuileaux, et se présente par lits de $0^m,04$ à $0^m,05$ au moins. Voici, je crois, comment cette épaisseur des lits est obtenue :

Dès qu'une tranche de la voûte est achevée, on la recouvre d'une couche générale de mortier formant sur

---

de France à Damas, qui m'a décrit tous les détails d'une construction de voûte réalisée sous ses yeux. Les mortiers, à Mossoul, étaient remplacés par du plâtre, et les briques par de très-petits moellons. Quant au procédé, il était de point en point celui que je viens d'exposer. Ce procédé, du reste, je l'ai mis moi-même à l'épreuve dans les conditions suivantes :

La voûte d'essai que j'ai construite est un berceau en plein cintre de $3^m,40$ de diamètre sur $0^m,11$ d'épaisseur. Les matériaux sont des briques de $0^m,055$, sur 0,11 et 0,22. Je les ai fait poser par tranches inclinées par rapport à la verticale d'une dizaine de degrés au plus. La conicité des tranches est à peine sensible. Enfin, pour rendre l'expérience plus concluante, j'ai remplacé le mortier par de la terre légèrement argileuse, sans y incorporer la moindre parcelle de chaux. Les circonstances étaient aussi défavorables que possible, et pourtant la voûte a parfaitement réussi.

toute sa surface comme un enduit, et sur cet enduit presque sec on applique une seconde couche de mortier destinée à faire adhérer la nouvelle assise de briques. L'avantage qu'on trouve à procéder ainsi est d'abord de réduire la dépense de briques, ensuite et surtout de régulariser la surface qui doit recevoir une nouvelle assise.

2° On ne fait jamais commencer les tranches au niveau des naissances. Ces assises de champ sont moins simples à établir que les lits rayonnants de nos voûtes ordinaires; aussi les Byzantins n'y ont recours qu'à l'instant où les lits cessent de se maintenir sans cintrage. La *fig.* 1 montre cette association des lits convergents qui constituent la voûte vers les naissances, avec les tranches qui en forment toute la partie haute.

3° Il faut que la voûte ait pour point de départ soit un mur-pignon comme *ab* (*fig.* 4 à 11), soit un arc de tête, qui, bien entendu, s'établira sur cintre et d'après le système vulgaire des assises convergentes.

4° Quand le berceau doit couvrir l'intervalle compris, soit entre deux arceaux de tête, soit entre deux murs-pignons, il peut s'exécuter de deux manières différentes :

L'une des solutions consiste à partir d'un seul des murs-pignons, cheminer vers l'autre mur dont on approche le plus possible, et combler l'intervalle resté vide à l'aide d'une fourrure en briques à lits convergents.

L'autre solution (la plus ordinaire) est indiquée par les projections *fig.* 12 et 13 et la perspective *fig.* 3 : on part à la fois des deux murs formant têtes; et, au moment où les deux tronçons sont sur le point de se rejoindre, on resserre progressivement le vide en faisant alterner les tranches transversales avec des lits rayonnants. Les lits rayonnants s'inclinent à mesure qu'on approche du sommet; mais en même temps ils diminuent de longueur, et leur exécution n'entraîne de fait aucune difficulté sérieuse.

Citons maintenant quelques exemples.

En suivant autant que possible l'ordre des dates, nous trouvons :

A Nicomédie, plusieurs voûtes des Thermes, qui paraissent remonter à Dioclétien, et se rapportent au type *fig.* 1 ;

A Éphèse, les voûtes des évidements pratiqués dans les piliers de la basilique de la Trinité (époque constantinienne, *fig.* 12); les voûtes de la catacombe dite église des Sept-Dormeurs;

A Constantinople, ceux des berceaux de Sainte-Sophie dont j'ai pu vérifier la structure; les panneaux remplissant l'intervalle entre les arcs-doubleaux de Sainte-Irène; quelques fragments parmi les ruines du palais des Blachernes;

A Salonique, l'arc romain dit de Constantin ; une citerne sous la basilique de Saint-Dimitri; les nefs latérales de Sainte-Sophie; la porte de l'enceinte et la fontaine des Saints-Apôtres;

A Nicée, les voûtes des tours. Plusieurs présentent la disposition *fig.* 13. L'une d'elles est construite par lits alternatifs de briques et de moellons; les moellons, taillés d'ailleurs dans une pierre poreuse et légère, ont jusqu'à $0^{m},20$ d'épaisseur; il fallait, pour arriver à les maintenir en place pendant la construction d'une assise, donner aux lits une très-forte inclinaison : aussi, dans ce cas particulier, l'inclinaison des assises a été portée à 45°.

II. — VOUTES D'ARÊTE.

La construction par lits tronc-coniques s'étend évidemment au cas où deux berceaux se pénétrent pour former une voûte d'arête (*fig.* 8) : on part des quatre murs de tête, et l'on fait marcher de front l'exécution des deux berceaux ; les tranches de l'un s'appuient à leur naissance

sur les tranches correspondantes de l'autre, et la construction s'achève sans difficulté.

Plus précisément, pour réaliser la voûte *fig.* 8, la marche est celle-ci :

On met en place les assises tronc-coniques *a*, *a'* formant les têtes du premier berceau ;

Puis on pose les assises de tête *b*, *b'* du second berceau : celles-ci trouvent leur appui, leur sommier en quelque sorte, sur la face conique des assises *a*, *a'* ;

Revenant au premier berceau, on établit les assises *c*, *c'* ; on passe de nouveau au second berceau, et ainsi de suite.

Ainsi furent construites diverses voûtes du monastère de Vatopedi à l'Athos, etc. Ce n'est pas là toutefois le cas ordinaire des voûtes d'arête : les Byzantins, pour en augmenter la stabilité, imaginèrent d'en surhausser le sommet ; ils renoncèrent dès lors à les engendrer par la pénétration de deux berceaux cylindriques, et adoptèrent un mode de génération plus complexe sans doute, mais donnant plus de solidité et moins de poussée. La *fig.* 6 fera saisir ce type usuel.

L'arête n'est point une ellipse, mais un arc de cercle (l'arc rabattu en *mrn* et ayant le point *c* pour centre) ; et l'intrados de la voûte est déterminé par un cercle de rayon variable, qui s'appuie sans cesse sur cette arête, a son centre sur l'axe *ox* du rectangle de base et son plan perpendiculaire à cet axe. En d'autres termes, chaque panneau *mpo* forme autour de *ox* une surface de révolution dont l'arc diagonal est la directrice.

Partant de cette définition, on conçoit par quel moyen l'ouvrier doit se guider pour exécuter la voûte :

En *c'*, centre de l'arc arêtier, il articule une tige dont la longueur correspond au rayon même de cet arc. Il articule une seconde tige au point *o'*, et, en *a'*, il attache un fil. Se plaçant ensuite dans le plan diagonal, il règle sur l'ex-

trémité *s* de la tige *c'*, les longueurs de la tige *o'* et du fil *a'*; et il lui suffit, pour obtenir à la fois une courbe de lit *ss'* et les génératrices de la surface tronc-conique qui lui correspond, de faire tourner le triangle *o'sa'* autour de l'axe *o'x'*.

Tel est le mode d'exécution des voûtes d'arête byzantines. On a depuis longtemps observé que les arêtes de ces voûtes sont saillantes vers les naissances et s'effacent vers le sommet pour laisser à la partie supérieure l'aspect d'une calotte sphérique. Toutes ces bizarreries résultent directement du mode de génération, et l'on s'en rendra compte soit en discutant l'équation de la surface, soit en traçant par les procédés graphiques une série de sections. — Autre détail caractéristique : la coupe de la voûte suivant l'axe *ox* donne une courbe à inflexion se relevant vers les arceaux de tête. Cette courbe insolite se remarque à toutes les voûtes tant des collatéraux que du narthex inférieur de Sainte-Sophie ; bien que le parement soit voilé par des enduits, un tel indice suffit assurément pour révéler la structure. Au reste, on peut citer comme des exemples d'une vérification plus facile les voûtes de la citerne dite des Mille et une colonnes à Constantinople, une citerne en ruine près et au sud-ouest du monastère de Chora, etc.

Dans ces divers exemples, le sommet a été placé aussi haut que possible. La hauteur manquait pour exécuter des coupoles ; on s'est du moins rapproché de la coupole, utilisant ainsi tout l'espace libre au profit de la stabilité. Le système byzantin, grâce à l'indétermination qu'il laisse pour la position du sommet, se prête fort bien à ces combinaisons, et c'est là un de ses principaux avantages.

III. — COUPOLES.

Ce qui vient d'être dit des voûtes d'arête (type de la *fig.* 6) convient de tout point aux coupoles sur pendentifs,

La coupole sur pendentifs n'est qu'un cas particulier de la voûte d'arête byzantine : elle répond à l'hypothèse où l'arc diagonal devient un demi-cercle. Les Byzantins ont saisi cette liaison d'idées, et en ont déduit pour la coupole sur pendentifs le procédé d'exécution le plus élégant comme aussi le plus logique ; la *fig.* 7 dispense d'entrer dans aucun détail sur son application. C'est d'après ce modèle que furent construites les voûtes de la grande citerne de Constantinople que les Turcs appellent ***Yere batan serai***, celle de la fontaine de Chilandari à l'Athos, etc.

Une seconde solution, adoptée concurremment avec celle de la *fig.* 7, consiste à disposer, comme nous le faisons nous-mêmes, les lignes d'assises suivant des cercles horizontaux, et les surfaces de lits suivant des troncs de cône renversés à axe vertical (*fig.* 15). Dès qu'un lit tronc-conique est achevé, il peut recevoir à son tour, sans aucun cintrage et par la seule adhérence du mortier, les briques d'un nouveau lit annulaire, et ainsi de suite. Mais l'adhérence est d'autant mieux assurée que l'angle du cône est plus ouvert ; et ici commence la différence entre la structure byzantine et la nôtre. Au lieu de faire converger vers le centre *o* les surfaces tronc-coniques des lits, les Byzantins atténuent l'inclinaison des génératrices, et par là exagèrent l'adhérence. Je ne connais aucune exception à cette règle ; et l'une des coupoles où elle se manifeste avec le plus de netteté est celle de la grande rotonde de Saint-Georges à Salonique.

Quelquefois même, pour faciliter le travail dans la région supérieure où l'intrados tend à se confondre avec un plan horizontal, le constructeur rompt franchement la continuité du profil, et remplace la courbe circulaire *akb* par un profil brisé *ampnb*. Cette anomalie apparente se remarque à deux citernes de Constantinople, l'une située près de celle des Mille et une colonnes, l'autre récemment découverte au N.-E. de l'Et-Meidan. Ajoutons qu'à partir

du niveau *mn*, on a substitué des tuileaux minces aux briques qui forment le corps de la coupole ; on ne pouvait mieux parer aux chances de glissement.

Maintenant, si, au lieu de placer la brisure *mn* au-dessus des sommets *a*, *b* des arcs de tête, on place cette brisure dans le plan même de *ab*, on obtient le profil surhaussé *acb*; ce fut le profil le plus usité au Bas-Empire, c'est celui de la grande coupole de Sainte-Sophie, et c'est aussi le type que la tradition a le plus fidèlement conservé. J'ai assisté à son application sur le chantier d'une mosquée nouvelle à Smyrne. La coupole fut montée sans cintre jusqu'à $0^m,60$ environ du sommet; alors seulement les maçons eurent recours à une légère plate-forme en planches pour recevoir une sorte de blocage qui leur servit à la fermer. Les boulins de leur échafaudage traversaient simplement la voûte, et ils auraient pu même éviter la sujétion d'une plate-forme auxiliaire au sommet en substituant, comme font les Arabes, à la calotte supérieure de la coupole un profil en pointe tel que *rst*.

En résumé, les dispositions de coupoles définies par les *fig.* 7 et 15 doivent être regardées comme les types généraux de l'architecture byzantine; celles qui restent à décrire n'existent guère qu'à titre de solutions très-particulières, de véritables exceptions; il suffira de les énumérer d'une façon sommaire.

1° Citons d'abord les coupoles à côtes. A part les ondulations de leur surface, elles rentrent, quant à la structure, dans le type représenté *fig.* 15; peut-être ne doit-on voir dans la disposition de ces voûtes qu'une simple fantaisie décorative; on en trouve l'application à Saint-Serge et au monastère de Chora à Constantinople, à l'église de Chilandari à l'Athos, etc.

2° La *fig.* 14 montre un arrangement de briques adopté pour la coupole du tombeau de saint Dimitri à Salonique :

une série d'arceaux étagés constituent cette singulière coupole. On comprend, d'ailleurs, au seul aspect de la figure, comment le maçon s'est guidé pour la construire : *os* est une tige directrice, *as* le fil qui la sous-tend ; il suffisait de faire tourner autour de l'axe *oa* le triangle *oas* pour que la tige *os* décrivît la surface conique d'un des arceaux, dont la superposition ou l'emboîtement mutuel constitue la voûte.

3° Le temple rond (aujourd'hui cathédrale) de Spalatro présente, lui aussi, une coupole faite d'une série de trompillons étagés et fort semblable, au point de vue de la construction, à celle de Saint-Dimitri. Ici encore, chacun des trompillons superposés avait ses assises coniques, et, pour tracer ces cônes dans l'espace, il suffisait d'un système de tiges directrices sous-tendues par des fils.

Un mot encore sur l'emploi des poteries dans la construction des voûtes.

On connaît depuis longtemps, par l'exemple des monuments de Ravenne, l'ingénieuse idée qui permettait d'obtenir une coupole légère et sans poussées à l'aide de tubes emboîtés, décrivant de la naissance au sommet une spirale continue et inextensible. J'ai vainement cherché l'application de ces spirales en poterie dans les édifices byzantins de l'Orient. Néanmoins on conserve, entre Naplouse et Jaffa, la tradition des voûtes en poteries creuses, et une coupole du vieux couvent de Saint-Panteleemon à l'Athos m'a rendu, sous une forme différente, l'idée de construction par anneaux inextensibles. Les matériaux sont des tuiles creuses, et, d'un lit au suivant, ces tuiles s'enchevêtrent ainsi que l'indique le croquis *fig.* 16; de cette sorte, deux assises successives constituent comme une chaîne annulaire incapable de s'élargir, par suite aussi incapable de pousser à l'écartement.

Je bornerai là cette revue de procédés byzantins. Si l'on essaye de remonter aux origines, on verra ces méthodes

se rattacher à de très-anciennes influences émanées de la haute Asie, on les aperçoit en germe jusque dans l'antiquité ninivite; ainsi, à Ninive, les briques d'une voûte d'aqueduc se présentent par tranches inclinées. Mais rien n'autorise à croire que de telles méthodes aient, dès ce moment, servi de base à un système d'architecture complet et logiquement coordonné; c'est sous la domination romaine que le système a pris naissance; il représente une école locale dans l'architecture de l'Empire, c'est l'école romaine d'Orient. Éphèse, Sardes, Philadelphie, Magnésie du Méandre, nous offrent des monuments construits de toutes pièces d'après le système byzantin, et que les caractères les plus nets reportent au moins à l'époque constantinienne. Ces exemples, du reste, sont les plus anciens que je connaisse, et apparemment la région où je les ai recueillis est celle même où l'art byzantin s'est formé. Nulle autre n'eût été plus favorable à son développement. La grande voie du commerce, telle que Strabon l'a décrite, conduisait de la haute Asie à Rome par Éphèse : Éphèse était comme un lien entre les deux civilisations; les idées, les exemples, toutes les influences de l'Orient s'y trouvaient en contact avec celles de Rome, et la race hellénique qui possédait la contrée était plus apte qu'aucune autre à fondre ces éléments de provenances si diverses en une architecture originale et neuve.

Je ne puis, sans m'engager dans une discussion archéologique qui serait déplacée ici, préciser ces aperçus ni montrer l'harmonie qui règne entre le système de construction propre aux populations romaines de l'Orient, leur régime social et les ressources matérielles dont elles disposaient. Je me contente d'indiquer les questions; j'essayerai de les traiter plus tard dans un travail d'ensemble sur les transformations de l'art et de la société en Orient à l'issue de la période romaine.

N° 48

CONSTRUCTION DE SIPHONS A GRAND DIAMÈTRE

SUR LE CANAL DU VERDON (PROVENCE).

NOTICE

Par M. DE TOURNADRE, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

L'exécution du canal du Verdon, en Provence, nous a conduit à recourir à l'emploi de siphons exécutés dans des proportions peu usitées, et correspondant à un débit de 6 mètres cubes par seconde. En outre, les conditions de pente et d'économie auxquelles nous étions assujetti ont entraîné certaines dispositions nouvelles qui pourront présenter quelque intérêt pour les ingénieurs qui rencontreraient dans leurs travaux des difficultés analogues. — La substitution de siphons à des ponts-aqueducs a reçu sans doute de nombreuses applications, mais presque toujours pour des volumes relativement peu considérables, des traversées assez courtes, des amplitudes peu profondes et des pertes de charge permettant de réduire les sections. Dans l'exécution du canal du Verdon, au contraire, ces ouvrages ont dû être établis à travers des vallons de 100 et 300 mètres de largeur, avec des sous-pressions s'élevant à près de 60 mètres et une perte de charge de $0^{m},001$ par mètre seulement, égale à celle réservée aux ponts-aqueducs primitivement proposés.

Pour que la substitution fût économique, il fallait n'avoir qu'un tuyau de conduite ou une galerie maçonnée à établir. Sans nous étendre, pour le moment, sur les prin-

cipes généraux de ces constructions, nous allons indiquer successivement les dispositions adoptées dans celles qui ont été établies par nous et dont la mise en eau a eu lieu l'année dernière, par les soins de M. l'ingénieur Bricka.

Siphon du vallon de Trempasse. — Le tracé du canal avait été fait de manière à traverser le vallon de Trempasse, situé à 66 kilomètres de la prise d'eau, à une hauteur de 27 mètres au-dessus du plafond. Les versants de ce vallon, situé dans la commune de Peyrolles, sont composés de roches calcaires de la formation jurassique, stratifiés par bancs serrés. — Le thalweg n'écoule que des eaux de pluie et le fond de la vallée est occupé par des terres végétales sur une épaisseur de $6^{m},50$ reposant sur la roche des versants.

Prix d'un pont-aqueduc. — Un pont-aqueduc établi dans ce passage aurait correspondu à une surface vue de 2.400 mètres carrés, vides et pleins compris, et en supposant qu'on eût pu réduire la dépense à 50 francs par mètre, le coût se serait encore élevé à 120.000 francs.

Dispositions générales du siphon. — Nous pensâmes qu'on aurait avantage à remplacer cet ouvrage par une galerie souterraine creusée sur tout le pourtour du vallon à une profondeur suffisante pour donner au toit une résistance en rapport avec la pression que l'eau devait exercer contre la paroi.

Largeur du vallon. — La largeur du vallon au niveau du canal est de $131^{m},80$; les versants sont inclinés à raison de 40 p. 100 et aboutissent à un plafond de 28 mètres de largeur au niveau du sol (Pl. 22, *fig.* 1 et 2).

Épaisseur du rocher au-dessus du siphon. — La galerie souterraine suit l'inclinaison des versants et plonge à 15 mètres sous le thalweg de manière à laisser au-dessus un toit de 7 à 9 mètres d'épaisseur, plus que suffisant pour résister à une sous-pression maxima de 39 mètres envi-

ron, car le poids seul du rocher représente déjà une résistance de 16.800 kilog. par mètre carré.

Section du siphon. — La section de la galerie souterraine est celle d'un cercle de $2^m,30$ de diamètre, qui, pour une pente de $0^m,0011$ par mètre, suffit à écouler les 6 mètres cubes formant le débit total du canal à la prise. La vitesse correspondante est de $1^m,29$ par seconde, en la calculant d'après les formules ordinaires.

Avantages et motifs de la section. — La forme circulaire n'a pas besoin d'être justifiée, et, quant à son diamètre de $2^m,30$, il résulte, ainsi que nous venons de le dire, de l'obligation de réduire la perte de charge à $0^m,0011$ par mètre. Une section moindre aurait produit un remous à l'amont, dans une cuvette dont la revanche entre le plan d'eau et le dessus des banquettes ne dépasse pas $0^m,35$, et la fouille du mètre cube de la galerie serait devenue plus coûteuse.

Vitesse d'entraînement des limons. — La vitesse d'écoulement de $1^m,29$ par seconde est suffisante pour empêcher tout dépôt de se former dans le siphon, résultat important et dont on a dû se préoccuper. Rien ne serait d'ailleurs plus facile que d'accroître cette vitesse en barrant une partie de l'ouverture à l'entrée du siphon, de manière à déterminer une chasse à l'aide d'un léger relèvement des eaux. Peut-être pourrait-on aussi recourir au moyen ingénieux indiqué dans le mémoire publié sur le siphon de l'Alma, et qui consiste à immerger un corps flottant dans l'eau introduite à travers la galerie d'écoulement.

Entraînement des limons au canal de Marseille. — Au canal de Marseille, dont les eaux s'écoulent avec une vitesse moyenne de $0^m,84$ seulement, on a, depuis vingt ans, constaté qu'aucun dépôt de limon ne se produit dans la cuvette; l'eau entraîne tout jusqu'au territoire arrosé, et les curages de la branche mère que l'on opère chaque année s'appliquent à un cube insignifiant.

Siphon de l'Huveaune. — Il existe sur une des branches principales, dans le territoire de Marseille, un très-long siphon traversant la vallée de l'Huveaune sur une largeur de 350 mètres et une profondeur de 18 mètres. Ce siphon se compose de quatre tuyaux en fonte de $0^m,50$ de diamètre et n'a jamais éprouvé la moindre obstruction.

Nous ajouterons que l'eau de la Durance contient à peu près dix fois plus de limon que celle du Verdon, et dans de semblables conditions on doit reconnaître que les dispositions du siphon de Trempasse donnent toute sécurité.

Revêtement intérieur du siphon. — Le danger des infiltrations et des pertes d'eau, favorisé par l'énorme pression qui tendait à chasser le liquide hors de son enveloppe, était beaucoup plus à redouter, malgré les garanties offertes par la compacité de la roche traversée. On y a remédié en faisant sur tout le pourtour de la galerie souterraine un revêtement en maçonnerie de moellons bruts reliés à la paroi par un garnissage de béton fin de manière à ne laisser aucun vide derrière la maçonnerie. Avec des pressions s'élevant jusqu'à 40 mètres, il était excessivement important d'avoir un massif parfaitement appliqué contre le rocher, et l'on a pu arriver à ce résultat en prenant toutefois des soins minutieux. Un cintre, avec couchis de 2 mètres au plus de longueur, permettait aux maçons d'atteindre facilement toutes les parties du revêtement et de les souder intimement au rocher et aux parties déjà faites.

L'épaisseur donnée à cette enveloppe variait avec les irrégularités forcées de la fouille; mais elle est presque partout de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur au plus.

Un enduit au ciment de $0^m,02$ d'épaisseur recouvre la surface et concourt à en assurer l'imperméabilité.

Profil du siphon. — L'axe du siphon est perpendiculaire à celui du vallon et en ligne droite. En élévation, il se compose de deux puits; celui d'amont a $12^m,14$ de hau-

teur et celui d'aval 13^{m},69; l'un et l'autre sont verticaux et couronnés au niveau du plafond du canal. Au premier, succède une galerie inclinée à raison de 40 p. 100 sur une longueur de 71^{m},25, suivie d'une partie horizontale de 10 mètres. La branche ascendante sur le versant gauche a à peu près la même inclinaison que celle descendant sur la rive droite et une longueur de 64^{m},50 aboutissant au puits d'aval (Pl. 22, *fig.* 1 et 2).

Les puits sont à section circulaire de 2^{m},30 de diamètre comme les branches du siphon et l'épaisseur du revêtement en maçonnerie est la même aussi.

Têtes ou embouchures du siphon. — La partie extérieure des puits formant les têtes du siphon est à section rectangulaire pour faciliter son raccord avec les murs berges de la cuvette du canal aux abords. Les épaisseurs des murs d'enceinte varient avec la hauteur, elles sont du tiers environ. Des tirants en fer relient entre eux les murs d'enceinte du puits, et, disposés les uns au-dessous des autres suivant une hélice, ils forment une sorte d'escalier pour descendre dans l'intérieur quand on a vidé le siphon.

Les autres dispositions ressortent du dessin et ne présentent aucun intérêt de nature à en motiver la description détaillée.

Les murs sont en maçonnerie de moellons avec chaux hydraulique du pays et les parements en moellons assisés, accompagnés de chaînes en pierre de taille (Pl. 22, *fig.* 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8).

Grilles des ouvertures du siphon. — Des grilles en fer posées en tabatières couvrent les orifices des puits, et d'autres verticales, placées un peu en amont, empêchent les corps flottants ou en suspension dans l'eau de s'engager dans l'intérieur du siphon.

Pente totale de l'entrée à la sortie des eaux. — La différence de niveau entre l'orifice du puits amont et celle du puits aval est de 0^{m},195, qui correspond à une pente de

$0^m,0011$ par mètre en la reportant sur le développement du siphon égal à $171^m,58$.

Puits de vidange du siphon. — L'obligation où l'on pourrait être, en cas d'accident, de vider l'eau emmagasinée dans le siphon, a conduit à pratiquer vers le milieu du plafond de la vallée un puits vertical aboutissant à 6 mètres de l'axe de la branche inférieure et communiquant avec elle par une petite galerie horizontale. Cette disposition a permis de conduire la fouille plus rapidement en fournissant une sortie commode aux déblais du siphon et doublant le nombre des attaques (Pl. 22, *fig.* 13, 14, 15 et 16).

Dimensions et disposition du puits. — La section du puits est un ovale de $2^m,41$ de longueur sur 2 mètres de largeur; il a 14 mètres de profondeur; sa partie inférieure est ouverte dans le rocher sur $9^m,50$ de profondeur, et au-dessus se trouve une couche de terre de 5 mètres environ mêlée de pierrailles.

Les parois du puits sont revêtues en maçonnerie ordinaire dans cette partie, avec une épaisseur de $0^m,30$, contre-butées par des tiges en fer de mètre en mètre.

Fermeture du puits et hangar. — Le puits est fermé à son orifice par une porte fixe en bois, avec trappe mobile. Le tout est abrité sous un hangar fermé, dans lequel sont logés les appareils d'épuisement, et qui sert de refuge aux cantonniers en cas de mauvais temps.

Pompe pour vider les eaux. — La vidange des eaux a lieu à l'aide d'une pompe munie d'un robinet d'arrêt, d'un coup perdu et d'une tige à clapet. La moitié du volume d'eau s'écoule naturellement et par la seule pression due à la différence de niveau entre la surface supérieure de l'eau et l'orifice du puits; il ne reste donc à demander à la pompe que l'extraction de 350 mètres cubes environ.

Galerie latérale du puits. Fermeture du siphon. — On a donné à la galerie latérale faisant communiquer le puits avec le siphon une hauteur de $2^m,80$ sur 2 mètres de lar-

geur, débouchant un peu en arrière du revêtement. La partie la plus délicate de cet annexe a consisté dans la fermeture de la branche inférieure du siphon. Une pression de 40 mètres environ, agissant sur ce tampon, exigeait des soins minutieux pour assurer sa résistance, son étanchéité et sa liaison avec les parois en rocher. On a satisfait à ces conditions au moyen d'une plate-bande en pierres de taille bien ajustées et appareillées avec précision. Encastrée sur tous ses bords dans le rocher solide et avec des entailles de $0^m,20$ à $0^m,80$ de profondeur, elle a été posée à $2^m,15$ en arrière de l'axe de la branche inférieure du siphon. Tous ses joints sont garnis d'un ciment de première qualité, et la jonction avec la paroi de la galerie est accompagnée d'un fort bourrelet également en ciment. Son épaisseur est de 1 mètre, sa hauteur de $3^m,20$ et sa largeur moyenne de $2^m,80$. Ce barrage ainsi constitué est percé en son milieu d'un orifice dans lequel passe le tuyau d'adduction de la pompe.

Pour éviter l'obstruction que pourraient produire les légers dépôts formés au bas du siphon on a placé, un peu en avant de l'orifice du tuyau, une petite murette en briques de $0^m,40$ de hauteur, armée en son milieu d'une ventelle en tôle. Cette dernière tranche d'eau, portant sur une faible longueur, pourra toujours être facilement évacuée par des moyens ordinaires.

Vannes de garde en amont du siphon. — Ce siphon, comme tous ceux établis sur le canal, est précédé à l'amont d'un déversoir de fond, c'est-à-dire de trois ouvertures de 1 mètre, munies de vannes et pratiquées dans le mur-berge du canal. En soulevant ces vannes, on peut très-rapidement détourner les eaux et les empêcher d'entrer dans le siphon en cas d'accident ou pendant les opérations de vidange. Un léger ressaut dans les murs permet d'appuyer des poutrelles et de former un barrage fermant toute issue aux eaux vers l'entrée du siphon.

La manœuvre des vannes donne le moyen de régler l'introduction des eaux, et leur sommet, dérasé au niveau du plan d'eau, forme un véritable déversoir de superficie avec les piles et les culées couronnées à la même hauteur.

Dépense du siphon. — La dépense du siphon s'est élevée à la somme de 60.000 francs, savoir :

	fr.
Percement des galeries et puits	29.000
Maçonnerie de revêtement, têtes du siphon et barrage. . .	26.000
Grilles en fer et tirants.	3.650
Appareils de vidange.	950
Menus travaux.	400

Prix d'application. — Le percement des branches du siphon dans le rocher dur était payé, pour une section circulaire de 3 mètres de diamètre, à raison de 120 francs le mètre courant, y compris le montage des déblais, leur mise en dépôt, les boisages et épuisements et tous autres frais. Le prix de revient du mètre cube ressortait donc à 17 francs environ.

Les maçonneries de revêtement en moellons piqués étaient comptées à raison de 20 francs; la maçonnerie de moellons bruts à 15 francs; le parement vu et rejointoiement au ciment, 2 francs. Le même prix s'appliquait aux enduits de $0^{m},025$ d'épaisseur et composés d'un mortier fait de parties égales de ciment et de sable fin.

Pour les maçonneries extérieures, le prix était fixé à 9 francs pour celle en moellons, à 18 francs pour le moellon piqué et 40 francs pour la pierre de taille. Ces trois prix étaient peu rémunérateurs.

Comparaison des dépenses du siphon et du pont-aqueduc. — La dépense d'exécution du siphon représente la moitié de celle d'un pont-aqueduc, calculée à raison de 50 francs le mètre carré, vides et pleins, estimation inférieure à celle des trois ouvrages de ce genre admis dans la construction du canal. Le pont de Baurivet, d'une hauteur de $14^{m},50$

et d'une longueur de 101 mètres, est revenu à 60 francs le mètre carré, celui de Malourie à 65 francs, et celui de Parouvier, de 21 mètres de hauteur sur 143 mètres de longueur, à 55 francs.

Ces ouvrages ont 4 mètres seulement d'épaisseur entre les têtes, se composent d'arceaux de 6 à 8 mètres d'ouverture, et sont disposés avec une simplicité de forme qui a assuré à leur exécution toute l'économie possible.

Il n'y a sans doute pas toujours avantage à substituer un siphon du genre de celui de Trempasse à un pont-aqueduc, cela dépend des circonstances particulières où l'on se trouve. Nous croyons cependant qu'on reconnaîtra qu'il en sera souvent ainsi, et il convient d'ajouter que, pour de grandes hauteurs d'aqueduc, la différence s'accentuera en faveur de cette solution; la dépense du pont-aqueduc sera au moins proportionnelle à la surface vue ou à son élévation, et pour le siphon elle se maintiendra dans des limites assez étroites, la dépense du percement des galeries souterraines étant à peu près indépendante de sa profondeur au-dessous du sol.

On pourrait d'ailleurs en réduire les frais en supprimant le puits de vidange, qui est à peu près inutile, et en diminuant la hauteur des têtes ou les remplaçant par un léger allongement des branches inclinées, dont les embouchures pourraient être reportées au plafond même de la cuvette du canal.

Siphon du vallon de Loubatas. — Indépendamment du siphon de Trempasse, il en a été établi un autre du même genre à travers le vallon de Loubatas, situé à 2 kilomètres l'aval.

La longeur de cet ouvrage est de $75^{m},80$ pour une profondeur de $30^{m},47$. Son développement total est de $109^{m},92$.

Il est ouvert dans un rocher moins compacte que celui du vallon de Trempasse et formé de bancs calcaires à stratification un peu lâche et mêlés d'argile sur quelques

points. Son exécution n'a pas donné lieu à plus de difficultés que le précédent; les têtes sont arrondies en forme de tours demi-cylindriques. L'épaisseur du toit en rocher, laissé au-dessus des branches du siphon pour résister à la sous-pression de l'eau, varie entre 7 et 8 mètres.

La dépense s'est élevée à 48.000 francs.

Un pont-aqueduc n'aurait pas coûté moins de 80.000 fr., la surface vue étant évaluée à raison de 55 francs le mètre carré.

Siphon de Saint-Paul. — On a construit aussi sur le canal du Verdon un troisième siphon dans des conditions plus difficiles que les précédentes, c'est celui correspondant au vallon de Saint-Paul, dont la largeur, au niveau de la cuvette, est de 300 mètres, et qui a son plafond à 36 mètres au-dessous du canal. Les sondages accusaient l'existence de 15 à 16 mètres de terre légère dans le thalweg, bien que sur les versants la roche fût à fleur de sol. La construction d'un pont-aqueduc dans de semblables conditions devait entraîner une dépense de 500.000 francs environ. L'établissement d'un siphon ne pouvait être que plus économique. Les galeries souterraines furent donc creusées en laissant un toit de 7 à 8 mètres d'épaisseur; mais on rencontra dans la branche d'aval, qui remontait le versant droit avec une rampe de 40 p. 100, une roche fissurée qui n'offrit pas une résistance suffisante à la sous-pression, sur ce point situé à 56 mètres de profondeur. Un tuyau en fonte fut descendu sur une longueur de 14 mètres; mais la roche, faisant suite à ce passage sur une vingtaine de mètres, aurait exigé l'application de la même mesure. Les événements de 1870 survinrent, qui suspendirent tous les travaux; on les reprit plus tard, mais en substituant du béton à la fonte. Cette substitution ayant abouti à un mécompte, on eut recours à un siphon entièrement métallique, composé de deux tuyaux en tôle de $1^{m},75$ de diamètre. Devenu étranger à la direction des travaux, il ne

nous convient pas de les juger, mais le résultat final n'infirme en rien notre conviction quant à la préférence à accorder aux siphons souterrains sur les ponts-aqueducs dans la plupart des cas. La construction du siphon de Saint-Paul, avec les remaniements qui en devaient assurer le succès, aurait coûté beaucoup moins que le pont-aqueduc projeté en premier lieu; on a pu faire deux siphons, l'un métallique et l'autre souterrain, sans dépasser le prix qu'aurait atteint l'établissement d'un pont-aqueduc en maçonnerie.

Siphon de la Lauvière. — Il nous reste à parler d'un siphon exécuté sur le canal du Verdon, dans des conditions toutes particulières et dont le système mixte peut également trouver une application avantageuse : c'est celui du vallon de la Lauvière, que le canal avait à franchir à une hauteur de 24 mètres. Comme les sondages du plafond ne donnaient qu'une terre argileuse suivie d'une roche sans solidité et que les versants, au contraire, étaient formés d'un poudingue très-dur, alternant avec des grès assez résistants, nous décidâmes de ne pas suivre pour ce siphon le système adopté dans les précédents. Les branches inclinées suivant les versants seraient seules formées par des galeries souterraines, et un tuyau en tôle relierait le pied de chacunes d'elles à la base des coteaux.

Longueur du siphon. Flèche. Pente. — La longueur de l'ouvrage entier mesuré horizontalement est de $272^m,70$ et la flèche maxima de $23^m,50$. La pente d'une tête à l'autre est de $0^m,0011$ par mètre, et le diamètre des galeries comme celui du tuyau est de $2^m,30$. Le débit à desservir est de $5^m,50$ par seconde (Pl. 23, *fig.* 1, 2, 3, 4 et 5).

L'adoption du diamètre de $2^m,30$ pour les branches inclinées et en galeries souterraines ne présentait pas de difficultés, mais il n'en était point de même pour le tuyau métallique. La fonte dut être écartée; on ne consentait à fabriquer un tube de $2^m,30$ que dans des conditions oné-

reuses et avec des délais très-longs. On aurait pu réduire ces inconvénients en adoptant des tuyaux d'un mètre de diamètre, mais pour un débit de $5^m,50$ par seconde il en aurait fallu huit, et la dépense ainsi que les difficultés de raccord avec les galeries souterraines ne permettaient pas de s'arrêter à cette combinaison. On a donc adopté la tôle, qui se prête beaucoup mieux à l'emploi de tuyaux à grand diamètre.

Dispositions générales du siphon. — Le siphon de la Laurière se compose donc (Pl. 23) de deux puits verticaux correspondant aux embouchures, de deux branches formées de galeries souterraines suivant la pente des versants et d'un tuyau horizontal en tôle d'un diamètre de $2^m,30$, comme celui des galeries est de 120 mètres de longueur. La distance mesurée horizontalement d'un puits à l'autre est de $272^m,70$. Les branches inclinées affectent une déclivité variant entre $0^m,06$ et $0^m,19$ par mètre. Le développement total des galeries et du tuyau correspond à une longueur de $302^m,42$.

La pente totale est de $0^m,341$, ou soit par mètre $0^m,0011$.

La section des galeries comme celle du tuyau est de $4^m,14$ et la vitesse de l'eau de $1^m,33$ par seconde.

Le tuyau en tôle franchit le petit ravin de la Lauvière et est traversé par-dessus à l'aide d'un pont en maçonnerie pour le passage d'un chemin vicinal.

Branches souterraines. — Les puits verticaux et les branches souterraines sont construits suivant les mêmes conditions que celles du siphon du Loubatas ci-dessus décrit. La fouille circulaire a été ouverte dans une brèche très-dure sur 3 mètres de diamètre environ, et la section intérieure de $2^m,30$, revêtue sur tout son pourtour d'une chemise en maçonnerie de moellons assisés et garnie derrière par du béton fin qui la relie au rocher, de manière à ne laisser aucun vide. A raison de la difficulté de taille

du rocher, on a été conduit à une épaisseur moyenne de $0^m,70$ pour le revêtement intérieur.

Branche horizontale. Tuyau en tôle. — Le tuyau en tôle, d'une longueur de 120 mètres entre les embouchures des galeries souterraines auxquelles il vient se souder, se compose de feuilles formant la demi-circonférence. Les joints horizontaux, placés à peu près à mi-hauteur, alternent d'une feuille à l'autre. Celles-ci ont $3^m,76$ de largeur et $1^m,41$ de longueur horizontale, se recouvrant sur $0^m,06$ et reliés par des rivets de $0^m,025$ de diamètre, battus à $0^m,02$ du bord et espacés entre eux de $0^m,05$. (Voir la Pl. 23.) Le tuyau ainsi composé pèse 620 kilog. par mètre courant et 4470 kilog. quand on y ajoute le poids de l'eau. La tôle a $0^m,01$ d'épaisseur et a été calculée pour résister à une pression de 30 mètres, un peu supérieure à celle qu'elle est destinée à supporter. En appliquant la formule $e = r\frac{P}{R}$ où $r = 1,15$, $P = 30.000^k$, $R = 60.000^k$, on arrive à $e = 5^{mm},75$, que nous avons porté à 10 millimètres pour plus de sécurité et pour faire la part de l'usure, et aussi des secousses possibles par le jeu des robinets et le remplissage du siphon.

Support du tuyau en tôle. — Préoccupé des dangers d'une oxydation rapide, de la difficulté de l'entretien et des pertes d'eau qui pourraient se produire, nous avons disposé le tuyau de manière à en rendre toutes les parties visibles et d'un accès facile. Il est donc entièrement extérieur et soutenu par des selles en fonte portant sur des dez en pierre par l'intermédiaire de rouleaux. Les supports, espacés de $5^m,64$, reposent sur un radier général en béton à niveau du sol, régnant sur toute la longueur du tuyau avec une largeur de 5 mètres et une épaisseur de $0^m,75$.

Les selles embrassent la partie inférieure de la circonférence du tuyau sur un arc correspondant à $1^m,30$ de corde horizontale. Elles se composent de deux berceaux

avec pied et embase reliés par trois nervures (voir Pl. 23) correspondant à une longueur de $0^m,70$ pour une hauteur de $0^m,40$. Afin de faciliter les mouvements de translation du tuyau, déterminés par les dilatations ou les contractions du métal, deux rouleaux en fonte de $0^m,26$ de diamètre extérieur sont placés entre chaque selle et le dez en pierre formant le support fixe.

Soufflets de compensation. — Cette disposition ne suffisait pas toutefois pour répondre à tous les effets d'allongement ou de raccourcissement du tube ; il fallait obtenir que ces mouvements se produisissent sans arrachements à la jonction du tuyau avec les têtes maçonnées des galeries souterraines.

La soudure des deux parties a exigé beaucoup de précautions, que nous indiquerons tantôt, pour empêcher tout suintement d'eau dans le joint ainsi formé sur un pourtour de $7^m,33$ de développement et soumis à une pression de 23 mètres.

Afin de combattre l'action des variations énormes de température qui se produisent sur le tuyau sous l'influence du climat, nous avons adapté vers chaque extrémité du tube, et à 2 mètres des têtes des galeries maçonnées, une couronne circulaire dont la double courbure procure à cet anneau une très-grande élasticité se prêtant aux moindres allongements ou raccourcissements du tuyau.

Le diamètre de ces couronnes (voir la Pl. 23, *fig.* 8 et 9) est de 4 mètres, et la plus grande largeur ne dépasse pas $0^m,54$. La tôle a la même épaisseur que celle du tuyau. Chaque couronne se compose de vingt-deux secteurs découpés suivant les rayons, embrassant le demi-développement du soufflet et assemblés avec vingt-six rivets de part et d'autre. Ils se réunissent tous sur la circonférence extérieure de 4 mètres, avec recouvrement portant double rang de rivets.

Mesure des effets de dilatation ou de contraction du tuyau.

— Afin de mesurer les effets produits sur le tuyau par les changements de température à l'aide des mouvements des soufflets de compensation, nous avons eu recours à la combinaison suivante : on a placé au-dessus de ces appareils deux supports, fixés au tuyau en tôle avant et après la couronne (voir la Pl. 23, *fig.* 8); au premier était liée par son extrémité une règle en cuivre, dont l'autre extrémité, graduée en millimètres, portait librement sur le second support, terminé en forme de fourchette. La règle graduée traduit exactement le jeu du soufflet, qui s'ouvre ou se rétrécit suivant les variations du tuyau. Il est fait abstraction de celles de la petite partie comprise entre le soufflet et la tête maçonnée, qui a paru négligeable.

La division observée sur la règle par une température de 0°, accusée par la moyenne des indications de cinq thermomètres placés sur les diverses parties du tube, a correspondu à 0^{m},111 de l'échelle. Le nombre des observations faites sous notre direction n'a pas été assez considérable pour qu'il y ait lieu d'en tirer une conséquence absolue.

Nous nous bornons à indiquer quelques-uns des allongements observés en 1868 et 1869 avant la mise en eau du siphon, époque où les effets de la chaleur se faisaient sentir beaucoup plus qu'aujourd'hui. Les allongements des deux échelles réunis ont donné, en partant de 0° :

Pour 10° centigrades.	0^{m},014
Pour 20° —	0^{m},028
Pour 30° —	0^{m},050
Pour 38° —	0^{m},083
Pour 43° 9/10 —	0^{m},085

Les observations pour des températures froides sont trop peu nombreuses pour que leur résultat puisse avoir quelque valeur; le thermomètre descend, du reste, assez rarement au-dessous de zéro dans ces parages; on a noté un raccourcissement de 0^{m},006 environ pour 4°. Les règles de

chaque extrémité accusent d'ailleurs des écarts différents, et cela se conçoit aisément par l'inégalité des effets produits sur un tube de 120 mètres de longueur et des réactions qui les contrarient.

Jonctions du tuyau en tôle avec les galeries maçonnées. — Il a été dit plus haut un mot de la difficulté que présente la jonction du tuyau en tôle avec les têtes maçonnées des galeries souterraines. Pour diminuer cette difficulté, on a eu recours à une collerette en fonte qui s'adapte plus aisément à la pierre, et est accompagnée par un bout de tuyau, en fonte aussi, pénétrant dans la galerie souterraine, dont il forme le revêtement à son extrémité (voir la Pl. 23, *fig.* 8) sur 3 mètres de longueur. Ce tuyau a $2^m,60$ de diamètre; il est formé de trois anneaux de 1 mètre de longueur, avec brides intérieures de $0^m,15$ de saillie, de manière à laisser aux eaux un passage libre de $2^m,30$, comme dans tout le siphon.

Les extrémités extérieures du bout de tuyau en fonte sont rivées au bord de la collerette, qui s'ajuste également avec le tube en tôle par une bride et une cornière embrassant les dernières feuilles du grand tuyau.

La collerette a $0^m,46$ de longueur et un diamètre intérieur de $2^m,30$; elle est renforcée par vingt nervures et a une épaisseur de $0^m,03$ comme la tubulure intérieure.

Les joints sont faits avec un mélange de minium, de céruse, chanvre et limaille de fer, et l'intervalle entre le tuyau et la paroi du rocher, dans la galerie, est garni par un béton de mortier hydraulique et de menues pierrailles.

Têtes des galeries et du siphon. — Les têtes des galeries sont en pierre de taille et maçonnerie, ainsi que les embouchures du siphon et des puits. (Voir la Pl. 23, *fig.* 2 et 4.) La vue des dessins suffit à en faire comprendre les dispositions, ainsi que le mode de raccordement avec la cuvette du canal. Deux grilles en fer accompagnent l'embouchure

amont, l'une verticale, armée d'un treillis à mailles serrées placé à la ligne de flottaison; l'autre horizontale, sur la bouche du puits; à l'aval, cette dernière seule est maintenue.

Robinets de vidange du siphon. — La vidange du siphon s'opère par un robinet-vanne d'un modèle connu, placé à l'aplomb du ruisseau de la Lauvière et adapté à un tuyau de $0^m,50$ de diamètre intérieur. Avec la pression dont on disposera, le volume d'eau contenu dans le siphon entier pourra être évacué en trois ou quatre heures au plus. (Voir Pl. 23.)

Trous d'homme pour pénétrer dans le tuyau en tôle. — Pour faciliter la visite et le nettoyage de l'intérieur du tuyau, on a établi des trous d'homme à chaque extrémité et au milieu. Ces ouvertures, placées au haut d'une tubulure en fonte de $0^m,28$ de saillie, ont une forme elliptique de $0^m,45$ sur $0^m,35$.

Dépense du siphon de la Lauvière. — La dépense du siphon de la Lauvière s'est élevée, en chiffres ronds, à la somme de 180.000 fr., qui se décompose ainsi qu'il suit :

	fr.
Percement des puits et galeries souterraines.	27.150
Maçonneries de revêtement, têtes et embouchures.	65.500
Tôle pour tuyau, fonte, grille, etc.	87.350

La tôle pour tuyau mis en place, assemblée avec rivets, et peinte à trois couches, a été payée à raison de. . 52 fr. les 100 kilog.
La fonte à raison de. . . . . 38 fr. les 100 kilog. pour les supports, et 47 fr. pour les tuyaux de $2^m,60$ de diamètre et les collerettes.

Le percement des galeries souterraines, tous frais compris, a été exécuté au prix de 120 francs le mètre courant, et les puits à 100 francs.

La maçonnerie des revêtements intérieurs était comptée à 15 francs le mètre cube, plus un rejointoiement au ciment de 2 francs par mètre carré de parement vu. La pierre de taille se payait à raison de 40 francs.

Comparaison avec un pont-aqueduc. — La construction d'un pont-aqueduc sur ce point aurait entraîné une dépense bien supérieure à celle du siphon. La surface vue eût été de 5.163 mètres carrés, qui, par suite de la difficulté des fondations, ne peut s'estimer à moins de 60 francs par mètre carré, ou soit en tout 310.000 francs environ, au lieu de 180.000 qu'a coûté l'ouvrage établi dans le vallon de la Lauvière.

Conclusions. — L'exposé que nous venons de faire montre l'économie à réaliser dans certains cas en substituant à des ponts-aqueducs des siphons formés de galeries souterraines creusées dans le rocher ou de tuyaux en tôle. Au canal du Verdon, qui comprend quatre ouvrages de ce genre, ce résultat est incontestable, et l'accident survenu à Saint-Paul n'infirme nullement la conclusion.

Le bénéfice serait plus grand encore moyennant certaines modifications qui consisteraient à supprimer les puits de vidange et aussi les puits verticaux extérieurs d'entrée et de sortie.

Avec une vitesse supérieure à 1 mètre par seconde, il n'est pas à craindre que des dépôts se forment, et l'épuisement des eaux par une pompe est trop facile pour que l'on ait à se préoccuper du petit avantage résultant de l'écoulement par le puits pour tout le volume dont le niveau est supérieur.

En prolongeant les branches inclinées du siphon jusqu'au plafond du canal, on réaliserait l'économie de presque toutes les maçonneries qu'entraînent les têtes et les puits extérieurs d'entrée et de sortie, ainsi que les raccordements avec la cuvette.

Grenoble, le 28 avril 1876.

NOTE.

Indépendamment des grands siphons dont on a donné la description, il en a été construit beaucoup d'autres dans des conditions ordinaires, soit sur la branche mère du canal, soit sur les dérivations. Parmi ces ouvrages, nous citerons les suivants :

Le siphon des Touscas sert au passage du canal mère sous le ravin des Touscas dont le lit, souvent desséché, est utilisé comme chemin par les propriétaires riverains. L'axe du canal traverse en courbe le vallon à son débouché sur la plaine et le niveau du plafond est à peu près celui du torrent qui forme chute à 12 mètres à l'aval (Pl. 22, *fig.* 6, 7, 10, 11 et 12). Le versant de la rive droite est formé par une roche assez compacte, celui de la rive opposée est recouvert de terre argileuse mêlée de pierre. Eu égard au débit du canal qui varie entre $5^{mc},50$ et 6 mètres cubes par seconde suivant le fonctionnement des arrosages en amont, nous avons adopté une section à peu près équivalente à celle des grands siphons, laissant à l'eau le soin de prendre la pente nécessaire pour compenser la perte de charge d'amont en aval. Comme il y avait avantage à diminuer la profondeur de la fouille dans le rocher, on a substitué à une seule ouverture de $2^{m},30$ de diamètre, deux orifices de $1^{m},70$.

Le corps du siphon a été fait en béton de chaux hydraulique avec une épaisseur de $0^{m},30$ seulement contre le rocher et de 1 mètre au cerveau pour résister à la sous-pression qui est de $3^{m},47$. La longueur horizontale de l'ouvrage est de $26^{m},60$, correspondant à une pente totale de $0^{m},005$. Un plan incliné raccorde le plafond du canal avec les deux tuyaux du siphon; à l'amont il est taillé suivant une ligne droite et à l'aval en forme de doucine avec revêtement en maçonnerie sur la partie non rocheuse.

La largeur du siphon mesurée suivant l'axe du ravin est de $8^{m},05$, et celle laissée au passage des crues entre les têtes est de $4^{m},57$ au plafond et 5 mètres au haut des bajoyers.

On a placé au bas du siphon une ventelle verticale que l'on manœuvre du haut des murs de tête et qui correspond à un orifice accompagné d'un tuyau; celui-ci débouche au pied de la chute existant un peu à l'aval et permet de vider complétement le siphon.

Le dessin (Pl. n° 23) donne, au sujet des autres dispositions de cet ouvrage tous les détails nécessaires, et nous y renvoyons.

Parmi les siphons en grand nombre qui ont été construits, nous terminerons notre exposé par la description sommaire de l'un de

ceux établis sous le chemin de fer d'Aix à Pertuis (Pl. 22, *fig.* 9, 10, 11 et 12).

La rigole à desservir ne devant débiter que 80 litres par seconde, on a eu recours à de simples tuyaux en fonte à emboîtement et cordon. Pour en faciliter la surveillance et l'entretien et ne point entraver le fonctionnement du chemin de fer, la conduite a été enfermée dans un aqueduc en maçonnerie suivant le pourtour des talus et de la plate-forme de la voie.

Des ouvertures pratiquées dans la voûte de l'aqueduc vers le bas des talus font communiquer la galerie avec les fossés du chemin de fer et en cas de rupture du tuyau assurent une issue aux eaux. La longueur de l'ouvrage, y compris la traversée d'un chemin latéral, est de $27^m,69$; la profondeur de la tranchée est de $5^m,27$ et celle du siphon de $6^m,43$; la pente totale de l'entrée à la sortie de l'eau est de $0^m,19$; on a adopté un diamètre de $0^m,30$ pour les tuyaux et une hauteur de 1 mètre pour l'aqueduc, avec une largeur de $0^m,80$ entre les pieds-droits; l'épaisseur de la voûte à la clef ainsi que celle des pieds-droits est de $0^m,40$ sous la plate-forme du chemin de fer et de $0^m,30$ sous les talus. Un puisard ouvert donne accès à l'amont de la galerie; à l'aval il est remplacé par un simple regard placé sur l'accotement du chemin latéral et fermé au moyen d'un tampon en pierre. L'orifice de la conduite à son origine est accompagnée d'une grille à mailles serrées pour empêcher les obstructions.

N° 49

NOTE

SUR

LES COMMISSIONS SPÉCIALES

PRÉVUES

DANS LA LOI DU 16 SEPTEMBRE 1807

Par M. SCHLEMMER, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

---

1. *Objet de la Note.* — L'article 26 de la loi du 21 juin 1865 a-t-il supprimé complétement les commissions spéciales et transporté leurs attributions aux conseils de préfecture ?

La réponse affirmative et la réponse négative à cette question ont l'une et l'autre leurs partisans. Toutefois, les arguments mis en avant par les premiers nous paraissent méconnaître l'une des intentions formelles du législateur de 1865, et mériter le reproche de ne pas avoir égard, dans une mesure suffisante, à diverses distinctions établies dans la loi du 16 septembre 1807, ni, en général, à l'esprit de cette loi; c'est ce qui ressortira, croyons-nous, des observations réunies dans la présente Note sur la question controversée.

2. *Remarques préliminaires sur la loi du 16 septembre 1807.* — La loi du 16 septembre 1807 a été souvent et vivement attaquée; elle porte le titre de loi sur le dessèchement des marais, mais, en réalité, elle touche à beaucoup d'autres matières, et elle a été qualifiée, quelquefois, de Code des travaux publics ou de Code des ponts et chaus-

sées. M. Aucoc, dans ses conférences de droit administratif, en faisant remarquer l'inexactitude de cette qualification, pense qu'il serait plus juste de dire qu'elle constitue le Code des règles relatives aux bénéfices et aux dommages résultant de l'exécution des travaux publics. Si l'on veut bien prendre en considération les services immenses que cette loi a rendus au pays, et tenir compte de ce que sa rédaction remonte à près de soixante-dix ans en arrière de l'époque actuelle, on ne peut, sans injustice, refuser l'admiration que mérite cette œuvre législative, malgré ses imperfections. Mais, cette remarque faite, et sans nous y arrêter un instant de plus, cherchons quel est l'esprit de la loi en ce qui touche la création des commissions spéciales. Nous ferons, dans ce but, quelques remarques préliminaires qui nous paraissent nécessaires avant d'aborder la question posée au § 1.

3. ***Bénéfices directs et indirects procurés par les travaux. Taxes et indemnités de plus-value.*** — Il s'agit ici des bénéfices résultant de l'exécution des travaux publics. Ces bénéfices peuvent être *directs* ou *indirects;* ils sont *directs* quand les travaux sont exécutés dans le but de procurer un avantage de protection ou d'amélioration à la propriété privée; ils sont *indirects* quand cet avantage est le *résultat* des travaux, sans en avoir été précisément le seul but. C'est là une première distinction qu'il est bon de ne pas perdre de vue; nous signalerons, de suite, un second point de vue général qu'il n'est pas moins essentiel d'avoir présent à l'esprit quand on étudie la loi de 1807; c'est celui du mode de création des voies et moyens pour l'exécution des travaux. Les fonds peuvent être fournis par les propriétaires intéressés, au fur et à mesure des besoins des travaux à faire, chacun devant contribuer aux dépenses, dans la mesure de son intérêt, par *des taxes* calculées en conséquence. Lorsque les travaux sont, au contraire, exé-

cutés par l'État, par le département, par la commune ou par un concessionnaire, les propriétaires intéressés sont dispensés de participer à la création même des voies et moyens nécessaires à l'exécution des travaux; mais, pour tenir compte de l'avantage qu'ils en retirent, ils sont assujettis à payer des indemnités de *plus-value*, qu'il est juste de proportionner encore au degré d'intérêt de chacun.

4. *Les taxes ne doivent pas être assimilées aux plus-values.* — Sans doute, l'indemnité de plus-value, comme la taxe, sert à fixer la somme par laquelle l'intéressé contribue à l'exécution des travaux, mais ce rapprochement autorise-t-il, comme il est fait quelquefois, à soutenir qu'il y a assimilation entre les taxes et les indemnités de plus-value? Nous pensons le contraire. A supposer même qu'il n'y ait là qu'une nuance, il faudrait encore y avoir égard, attendu qu'en droit administratif, comme dans le droit en général, les solutions des questions ne reposent, bien souvent, que sur la distinction des nuances. Mais il y a ici plus qu'une simple nuance, il y a des différences de nature entre ces deux espèces de contributions des intéressés. Les taxes, en effet, tout en étant, comme les indemnités de plus-values, proportionnelles au degré d'intérêt de chacun, se rattachent au montant fixé pour la dépense des travaux dont elles sont la répartition; la somme des taxes, en d'autres termes, est précisément égale au chiffre de la dépense. Pour le calcul des plus-values, d'après la loi de 1807, on ne fait pas entrer en ligne de compte la dépense des travaux (sauf dans un cas dont nous allons parler ci-après), mais on les déduit des chiffres représentant l'avantage que chaque intéressé a retiré des travaux, en appliquant à ces chiffres le taux ou la proportion fixée, généralement d'avance, par l'acte qui autorise la perception des plus-values (art. 20 de la loi de 1807).

L'exception, mentionnée ci-dessus, a lieu quand il s'agit

de *travaux de dessèchement exécutés par l'État*, auquel cas la portion de celui-ci, dans la plus-value réalisée par les travaux, doit être fixée de manière à le rembourser de toutes ses dépenses (*). Mais quand il y a un concessionnaire du desséchement, la plus-value, réalisée par les travaux, se divise entre le concessionnaire et le propriétaire, dans une proportion qui ne se déduit pas, suivant une règle arithmétique, du chiffre des dépenses des travaux, mais qui aura été fixée, dit l'article 20 de la loi de 1807, par l'acte de concession. Nous ferons remarquer ici que les articles 20, 21 et 22 de cette loi concernent spécialement, *quant au fond*, les travaux de desséchement de marais, ainsi que le montrent la place qu'ils occupent dans la loi et la rédaction du texte; quand il s'agit de travaux publics autres que le desséchement des marais, c'est sur les articles 30 à 32 qu'il faut s'appuyer pour tout ce qui concerne le règlement de la plus-value. L'article 30 renvoie, il est vrai, aux articles 20 et suivants, mais en ce qui touche *la forme* seulement, par ces mots : « le tout sera « réglé par estimation dans les formes déjà établies par la « présente loi ». Ce qui différencie les plus-values de l'article 30 de celles de l'article 20, c'est que, pour les premières, l'article 30 de la loi pose une limite supérieure au taux de l'indemnité à payer par le propriétaire soit à l'État, soit au concessionnaire, et la fixe à la moitié de la plus-value réalisée. Pour les travaux de desséchement, le taux de la proportion est celui que stipule l'acte de concession, sans que la loi lui pose une limite supérieure; mais elle renonce, pour l'État, quand c'est lui qui exécute les travaux, à l'encaissement de tout profit, en sus du remboursement de ses dépenses. Sans nous arrêter plus longtemps à ces remarques sur les articles 20 et 30 de la loi, revenons à la différence de nature, que nous voudrions mettre en

(*) Art. 20 de la loi du 16 septembre 1807.

complète lumière, entre les taxes et les indemnités de plus-values. Cette différence constitue, en effet, une considération de grande importance dans la question dont il s'agit ici, et se représentera, sous plus d'une face, dans les conséquences que l'on en doit tirer. Il s'agit là, au fond, de deux méthodes d'esprit différent pour mesurer le degré d'intérêt aux travaux de chacune des propriétés auxquelles on réclame soit une taxe, soit une indemnité de plus-value. On peut les caractériser sommairement, dans le langage arithmétique ou algébrique, comme il suit :

1° En ce qui concerne d'abord l'indemnité de plus-value, soit E l'estimation de valeur d'une propriété avant les travaux, E′ l'estimation de la même propriété après les travaux, la plus-value P est représentée par la différence $E' - E$, $(P = E' - E)$ et I, l'indemnité de plus-value à payer par la propriété, se déduit de la formule $I = \alpha P$, dans laquelle α est le taux de la proportion qui revient soit au concessionnaire, soit à l'État, suivant les cas d'application des articles 20 et 30 précités de la loi.

2° En ce qui touche le calcul des taxes, soient A, B, C, etc., les nombres qui *représentent les valeurs* des propriétés syndiquées et classées dans différentes catégories telles que l'avantage à retirer des travaux soit, par unité de valeur, ou à égalité de valeur, représenté par le chiffre *a* pour la classe A, *b* pour la classe B, *c* pour la classe C, etc., on déduit d'une règle connue de l'arithmétique, que les diverses catégories doivent participer à une *dépense déterminée* dont le rôle a pour montant R, dans les proportions suivantes :

Classe A, $R \times \frac{Aa}{Aa + Bb + Cc + \text{etc...}}$

Classe B, $R \times \frac{Bb}{Aa + Bb + Cc + \text{etc...}}$

Classe C, $R \times \frac{Cc}{Aa + Bb + Cc + \text{etc...}}$

etc.

N'ayant pas pour objet, ici, d'écrire une théorie de l'établissement des bases d'une taxation, nous nous bornons, dans ce qui précède, au cas le plus fréquent et le plus simple, où il ne s'agit d'avantages à retirer des travaux que dans un seul ordre d'idées; s'il y en avait plusieurs, la règle arithmétique à appliquer resterait toujours la même, à savoir qu'une quantité proportionnelle, simultanément, à plusieurs autres est proportionnelle au produit des nombres qui représentent celles-ci. Aussi bien, ce que nous venons d'indiquer suffit à montrer la différence fondamentale qui existe entre les indemnités de plus-values et les taxes. Lorsqu'il s'agit d'indemnité de plus-values, la commission spéciale est appelée à contrôler des estimations de propriétés avant et après l'exécution des travaux, quand les avantages attendus de ces travaux sont *réalisés*. Lorsqu'il s'agit des taxes provenant de la répartition d'une dépense déterminée, la commission spéciale que, *pour abréger*, nous nommerons alors *commission spéciale de taxation*, est appelée à vérifier et à homologuer des nombres qui représentent, avec le plus d'exactitude et de justice possible, les avantages *présumés* que telle ou telle classe de propriétés a retirés ou va retirer des travaux. La tâche, dans les deux cas, est des plus délicates et des plus difficiles; c'est là leur caractère commun ; mais la différence des ordres d'appréciation et des résultats est de la dernière évidence.

Cette différence de nature entre la taxe et l'indemnité de plus-value n'est pas la seule; nous verrons, en effet, un peu plus loin, que les taxes peuvent être recouvrées comme les contributions directes, et que les indemnités de plus-value ne sont pas soumises aux mêmes conditions de recouvrement.

Il y a de plus une troisième différence, encore plus frappante, entre les taxes et les indemnités de plus-value, c'est celle qui résulte des articles 21, 22 et 31 de la loi de 1807. Pour les indemnités de plus-values, les intéressés ont le

choix entre trois modes de libération; elles peuvent être acquittées : 1° en argent, 2° en rentes constituées à 4 p. 100, et 3° en délaissement d'une partie de la propriété, si elle est divisible. Pour les taxes, ce choix n'existe plus; elles doivent être payées en argent.

Il nous semble résulter de ce qui précède que, s'il est permis de dire que les indemnités de plus-value, comme les taxes, sont des contributions, on n'est cependant pas autorisé à les assimiler.

Le législateur de 1865 a nettement accusé ces différences entes les taxes et les plus-values, lorsque par l'organe de M. Sénéca, rapporteur de la Commission du Corps législatif (voir ci-après § 12), il déclare, dans les termes suivants, ne vouloir toucher en rien à la législation en vigueur sur les rôles d'indemnité de plus-value :

« Une observation plus importante qui a été accueillie par « la Commission, doit être constatée : c'est que les taxes « auxquelles se réfère l'article 26 de la loi actuelle (1865), « ne s'entendent nullement des rôles d'indemnité sur la « plus-value dont parle l'article 20 de la loi de 1807, et « *qui ne sont ni de même nature, ni soumises aux mêmes* « *conditions de recouvrement.* »

Les explications dans lesquelles nous sommes entré au sujet des indemnités de plus-value dont parle l'article 30 de la loi de 1807, et qui se règlent dans les mêmes formes d'estimation que celles de l'article 20, nous semblent bien suffisantes pour montrer qu'elles sont, pour le moins, aussi différentes et aussi distinctes des taxes mentionnées à l'article 26 de la loi de 1865.

5. *Nécessité de recourir à la jurisprudence pour arriver à la connaissance précise de ce que sont les commissions spéciales prévues dans la loi du* 16 *septembre* 1807. — Pour se former une idée nette de ce que sont les commissions spéciales prévues dans la loi de 1807, il ne suffit pas d'étudier les

articles 12, 14, 16 à 20, 24, 26, 30, 32, 40, 42 à 47 et 58 qui les mentionnent explicitement; on ne tarde pas à reconnaître la nécessité d'une étude attentive de tous les articles de la loi de 1 à 47 inclusivement et de l'article 58, et, en outre, des arrêts qui ont successivement appliqué, interprété et complété la loi. Là où le législateur n'a pas rempli sa tâche dans une mesure suffisante, le rôle du juge s'est trouvé agrandi d'autant, parce que, dans la pratique, il a bien fallu pourvoir aux lacunes de la loi, et c'est ainsi que, de la jurisprudence, et sous la sanction de l'expérience acquise, se sont dégagés successivement un certain nombre de règles et même de principes qui, comme la loi elle-même, régissent cette difficile matière. On aurait d'ailleurs tort de croire que la loi de 1807, si souvent critiquée, mérite seule le reproche d'insuffisance, à cause des lacunes qu'on y signale. L'œuvre du législateur de 1865 n'échappe pas non plus à ce reproche; tous ceux qui ont eu à en faire l'application le savent bien. Pour s'édifier utilement à cet égard, il convient de lire les §§ 865 à 877 du tome II des *Conférences de droit administratif* de M. Aucoc, publiées en 1870.

6. Ceci nous amène à dire de suite, quoique cela soit à peine nécessaire, que l'on ne songe pas un seul instant à donner, dans la présente Note, un exposé complet, dogmatique ou systématique, des principes et des règles établis par les législateurs de 1807 et de 1865, et de ce qui est l'œuvre, bien plus complexe encore, de la jurisprudence, dans la matière difficile des bénéfices directs et indirects d'une certaine catégorie de travaux publics. Cette tâche est remplie par les livres de droit administratif auxquels nous renvoyons, entendant nous borner ici à un certain nombre de remarques rattachées à l'examen de la question posée au commencement de cette Note (*).

(*) Les hommages qui ont été rendus, si souvent déjà, au mé-

7. *Première remarque sur l'esprit de la loi de* 1807. — La première remarque sur laquelle nous appelons l'attention, quant à l'esprit de la loi de 1807, c'est que, pour les desséchements de marais, le législateur envisage deux périodes distinctes, celle qui se termine à la réception des travaux et celle qui la suit, sous le nom de période d'entretien et de conservation des travaux (*). La différence de caractère de ces deux périodes est nettement tranchée. En effet, le législateur de 1807 pose en principe (art. 2) que les desséchements sont exécutés par l'État ou par des concessionnaires. Lorsque les propriétaires intéressés remplissent les conditions exigées par la loi pour exécuter le desséchement, ils interviennent aussi avec le rôle de *concessionnaires* du desséchement. Nous n'avons pas à faire, ici, l'exposé détaillé de toutes les opérations énumérées dans la loi ; nous voulons signaler seulement ce

rite et à la haute utilité des deux volumes publiés en 1870 par M. le professeur Aucoc, nous dispensent d'en renouveler ici l'expression. On souhaite unanimement qu'ils soient bientôt suivis des volumes qui les compléteront, sur la voirie et sur les eaux. Pour l'examen de la question dont on s'occupe dans cette Note, nous conseillons spécialement de lire, dans le 1er volume, pages 423 à 425 et 480 à 483, et, dans le 2e volume, les deux chapitres VI et VII (pages 404 à 479), consacrés spécialement aux bénéfices directs et indirects résultant des travaux publics; l'exposé qui fait embrasser, là, les divers sujets traités, par une vue philosophique, donne au lecteur en même temps, et dans une proportion remarquablement heureuse, la connaissance positive de la législation et de la jurisprudence, celle-ci déduite des arrêts les plus topiques et les plus récents jusqu'en 1870. On ne refait pas de pareils livres, on s'appuie sur eux, en se bornant à ce qui concerne les arrêts postérieurs à la publication du livre, et à quelques remarques choisies en vue de l'examen de telle ou telle question particulière; c'est, du moins, ce que nous entendons faire dans cette Note.

(*) On pourrait dire aussi qu'il y a trois périodes, puisqu'aux termes de l'article 25, on y distingue aussi celle du cours des travaux, pendant laquelle les frais d'entretien sont mis à la charge des entrepreneurs du desséchement; mais cette distinction est sans intérêt pour l'objet de notre remarque, et nous comprenons cette deuxième période dans la première.

point, c'est que, dans la première période, la commission spéciale fonctionne comme *commission spéciale de plus-value*, quoiqu'il s'agisse d'un cas de bénéfice *direct*, autrement dit d'un cas où l'avantage donné par les travaux est à la fois le résultat et le but des travaux. Dans la seconde période, celle de l'entretien et de la conservation des travaux, le rôle des intéressés change; on les constitue en syndicat dit *forcé*, et le concessionnaire disparaît. La commission spéciale fonctionne alors aussi dans des conditions différentes; la considération de plus-value, payée une fois pour toutes, cède la place à celle de l'établissement de *taxes périodiques*, pour subvenir aux dépenses, les taxes comme l'indemnité de plus-value assujetties d'ailleurs à la condition d'être proportionnelles au degré d'intérêt de chacun. La commission fonctionne alors, pour le dire en langage abrégé, comme *commission spéciale de taxation*.

8. *Deuxième remarque.* — Notre deuxième remarque est que, si le législateur de 1807 est entré dans des développements considérables sur tout ce qui concerne la création et le fonctionnement des commissions spéciales de plus-values, par contre, il est d'une sobriété exagérée pour tout ce qui concerne les commissions spéciales de taxation. On ne doit pas hésiter à reconnaître, avec de bons auteurs, qu'à cet égard le législateur de 1807 n'a pas rempli toute sa tâche.

9. *Troisième remarque.* — Notre troisième remarque est que le législateur de 1807 mérite le même reproche, et cette fois pour les deux catégories de commissions spéciales, alors que, posant en principe que les prescriptions de la loi doivent être appliquées à divers genres de travaux publics autres que le desséchement des marais, tels que digues contre la mer et les cours d'eau, canaux, quais,

ponts, routes, rues, etc., etc., *il omet de régler l'application de ce principe* par des dispositions appropriées aux divers genres de travaux. Quelle a été la conséquence de cette omission? C'est que le rôle du juge s'est trouvé agrandi de tout ce que le législateur n'a pas fait; le renvoi, en termes généraux, aux dispositions rédigées en vue de la matière des marais, en a fait une obligation pour le juge chargé d'appliquer la loi dans les cas de travaux autres que le desséchement des marais; il a dû se garder à la fois de timidité et de témérité, et c'est ainsi que, des décisions d'espèces, se sont dégagées, progressivement, des règles pratiques qui sont venues compléter la loi. C'est dans les livres de droit administratif qu'on cherchera l'exposé de ces règles; nous n'avons pas l'intention ni la tâche de les reproduire ici. Notons seulement que ce qui domine ce côté de la question, c'est que, d'après le Conseil d'État, les dispositions de la loi de 1807, prescrites en matière de marais, n'établissent pas, en tout, des *principes inflexibles*, mais seulement une règle *d'analogie* dont l'application est plus ou moins rigoureuse, plus ou moins complète, *selon la nature des opérations.* La question qui se pose chaque fois est, invariablement, celle-ci : Qu'y a-t-il de substantiel dans les formalités prescrites en matière de marais? Le juge souverain au contentieux n'impose, à peine de nullité, que celles des formalités qui ont ce caractère d'être *substantielles*, et il approuve l'appropriation des formalités aux divers genres de travaux. Citons-en un exemple frappant et qui s'est présenté un grand nombre de fois : Qu'on examine, un instant, parmi les règlements d'administration publique, délibérés de 1807 à 1865, la nombreuse famille des ordonnances et décrets organisant des syndicats d'endiguement, sous le régime de la loi de 1807. Le rôle de la commission spéciale y est-il calqué sur celui dont la loi trace le détail? Nullement; il en est déduit par analogie, dans la mesure appropriée à la nature des

opérations à faire. L'article 1er, dans presque tous ces règlements constitutifs, organise les syndicats, à la fois en vue du premier établissement et de l'entretien et de la conservation des travaux. En cela on ne suit pas non plus à la lettre la loi de 1807, puisque celle-ci, en principe, prévoit deux périodes bien distinctes. Lors donc qu'on dit, de ces syndicats d'endiguement, qu'ils sont organisés sous le régime de la loi de 1807, cela signifie, incontestablement, qu'il s'agit de l'esprit, mais non de la lettre de la loi.

10. *Examen d'une objection de principe faite contre la présente Note.* — Nous terminerions ici nos remarques préliminaires sur la loi du 16 septembre 1807, et nous aborderions de suite l'examen de la question posée au commencement de cette Note, si nous n'avions pas à écarter d'avance les objections de principe qui nous ont été faites, relativement à la tendance et au but de cette Note. On nous dit, par exemple : « Vous entendez soutenir, sans « doute, le maintien des commissions spéciales; en êtes-« vous donc partisan, encore aujourd'hui, après la pro-« mulgation de la loi de 1865? Ne reconnaissez-vous pas « qu'il est contraire aux idées et aux habitudes de l'époque « actuelle de faire désigner par l'État les membres d'un « tribunal exceptionnel, appelé à prononcer souveraine-« ment sur des intérêts, parfois considérables, entre l'État « et la propriété privée? »

Dans notre réponse à ces objections, nous ferons, pour lui donner toute la précision voulue, une double distinction, savoir : 1° celle relative aux deux catégories de commissions spéciales créées par la loi de 1807, et 2° celle qui consiste à examiner, séparément, ce qu'est la jurisprudence en vigueur, et ce qu'on voudrait qu'elle fût, pour chacune de ces deux espèces de commissions.

En ce qui touche d'abord *les commissions spéciales plus-value*, on trouvera, aux §§ 12 et 13 ci-après

preuve que le législateur de 1865 a déclaré formellement qu'il les laisse subsister telles que la loi de 1807 les prévoit. Une loi nouvelle pourrait seule modifier cette partie de la législation en vigueur. Mais dans quel sens voudrait-on la modifier? S'agit-il de confier aux conseils de préfecture la mission, le plus souvent délicate et difficile, des commissions spéciales de plus-value? Nous ne croyons pas, pour notre part, qu'elle serait ainsi mieux remplie que par le jury spécial nommé par le gouvernement, et pris, d'après la loi de 1807, parmi les personnes dont la compétence satisfait aux conditions de l'article 44 de cette loi. Le conseil de préfecture aurait indubitablement recours, pour s'éclairer, à l'expertise habituelle, et entre ces deux modes d'instruction, nous n'hésitons pas un seul instant à donner, en cette matière, la préférence aux commissions spéciales de plus-value, aujourd'hui surtout que le nombre de personnes aptes à entrer dans ce jury spécial (*) est plus grand qu'à l'époque où ont été faites les premières applications de cette partie de la loi de 1807.

En ce qui touche les commissions spéciales de taxation, qui ont un rôle tout autre que les commissions spéciales

(*) La commission spéciale de plus-value est, en réalité, une sorte de jury, dont les membres sont choisis en raison de leur compétence; l'objection qu'on nous a faite porte essentiellement sur ce qu'ils ne devraient pas être nommés par l'État qui est l'une des parties en cause; dans quel sens la loi nouvelle devrait-elle modifier la législation existante, pour lever cette objection? Convient-il de donner au conseil de préfecture la mission de désigner les membres de la commission de plus-value, et le jugement de l'affaire en première instance, sur l'avis de cette commission? Faut-il en dessaisir la juridiction administrative, et avoir recours aux tribunaux ordinaires, comme pour toutes les questions de propriété? Nous sortirions du cadre de cette Note, si nous voulions discuter ces questions graves et délicates; nous nous bornerons, en conséquence, à dire que, dans l'état actuel des choses, il n'y a pas de doute possible sur le maintien des commissions spéciales de plus-value, et que leur remplacement pur et simple, par le conseil de préfecture, ne nous paraîtrait pas désirable.

de plus-value, les objections ci-dessus se présentent dans des conditions toutes différentes, et appellent une réponse qu'il est malaisé de simplifier.

Au point de vue de la législation et de la jurisprudence en vigueur, nous établirons, aux §§ 14 à 20 ci-après : 1° que les attributions contentieuses de ces commissions sont seules transférées aux conseils de préfecture par l'article 26 de la loi du 21 juin 1865, qu'il s'agisse de statuer sur les réclamations contre les taxes syndicales individuelles ou contre les bases de ces taxes ; 2° que le Conseil d'État, statuant au contentieux, ne reconnaît pas au conseil de préfecture, lorsqu'il n'y a pas réclamation, le pouvoir d'homologuer le travail préparé par un syndicat (du système de la loi de 1807) pour la révision de l'assiette de ses taxes syndicales ; 3° que, dans les cas de cette nature, le Conseil d'État, statuant comme conseil du gouvernement, continue à instituer des commissions spéciales, chargées d'homologuer le travail préparé pour la révision des bases ou de l'assiette des taxes syndicales, et que le motif, invoqué par le Conseil d'État, est que l'article 14 de la loi du 16 septembre 1807 n'a pas été abrogé par la loi du 21 juin 1865, et doit continuer à recevoir son application.

Le Conseil d'État se montre ici scrupuleusement respectueux pour la législation existante, et il s'est gardé de faire entrer dans le domaine de la simple interprétation, une amélioration de l'état actuel des choses qui paraît désirable à bien des esprits, qui a paru telle, notamment, au législateur de 1865 lui-même, mais que le législateur seul a la compétence de réaliser.

Il est impossible de ne pas être frappé de la justesse des reproches adressés au mode d'intervention des commissions spéciales dites de taxation, dans les cas où les premières bases des taxes syndicales ayant cessé d'être exactes, par suite de changements survenus soit dans les terrains syndiqués, soit dans les travaux, ou, par suite de

toute autre cause légitime, il y a nécessité de reviser ladite assiette des taxes. La révision exige un nouveau décret du gouvernement qui a seul qualité pour rapporter ou modifier le décret antérieur, et elle comporte, de plus, la nomination, par décret, d'une nouvelle commission spéciale, pour homologuer le travail de la révision. Dans de pareilles conditions, n'est-on pas autorisé à déclarer *embarrassée* la marche de la juridiction temporaire en question?

Le législateur de 1865 a insisté sur ce point, et il a pris grand soin, article 16, de préserver de ces graves inconvénients les associations syndicales autorisées suivant le système de la loi de 1865; il est déclaré, dans l'exposé des motifs de cette loi (voir l'extrait placé aux annexes de cette Note) que l'article 16 de la nouvelle loi constitue l'une de ses dispositions les plus importantes. Mais il y a plus; le législateur de 1865 nous paraît avoir eu l'intention de procurer aussi le même avantage aux syndicats continuant à fonctionner sous le régime de la loi de 1807. (Voir ci-après le § 18 et, aux annexes, l'extrait du rapport de M. Sénéca sur le projet de la loi de 1865, en ce qui touche l'article 15 de ladite loi.) Mais, en fait, cette intention n'a pas été réalisée; elle ne s'est pas traduite dans le texte de la loi qui aurait dû abroger, pour cela, l'article 14 de la loi du 16 septembre 1807.

Lors donc qu'on se place au point de vue, non plus de la législation existante, mais à celui de sa révision, et spécialement à celui de la révision de la loi du 21 juin 1865, qui paraît à beaucoup de bons esprits avoir besoin d'être complétée et améliorée, nous croyons que, parmi ces améliorations, il sera certainement utile de comprendre celle qui consiste à réaliser l'intention susmentionnée du législateur de 1865.

En résumé, notre réponse à l'objection faite au sujet du maintien *des commissions spéciales dites de taxation* consiste, d'une part, à soutenir que la jurisprudence en vi-

gueur conserve ces commissions, en vue de l'homologation de la révision des taxes préparées par un syndicat du système de la loi de 1807, quand il n'y a pas de réclamation dans l'enquête ouverte sur cette révision, et, d'autre part, à reconnaître comme désirable la réalisation de l'intention du législateur de 1865, susmentionnée, en ce qui touche la suppression des commissions spéciales dites de taxation. Ce dernier vœu ne paraîtra pas suffisamment réservé, peut-être, aux personnes qui pensent que les syndicats auraient tort de se priver des lumières d'une commission spéciale, choisie avec soin, par le gouvernement, parmi les hommes les plus compétents de la région. Mais si nous avions à en décliner le reproche de témérité, nous insisterions sur ce que la jurisprudence réduit, en définitive, aujourd'hui à bien peu de chose le rôle de ces commissions spéciales de taxation, et sur ce que l'administration elle-même, dans l'exposé des motifs du projet de la loi de 1865, a dépeint, avec une énergique accentuation, la situation difficile et presque intolérable que le régime de la loi de 1807 fait aux syndicats, quand ils ont besoin de reviser l'assiette de leurs taxes.

11. *Division du sujet en deux parties.* — Ces considérations préliminaires établies, nous passons à l'examen direct de la question posée au début de cette Note. L'article 26 de la loi du 21 juin 1865 a-t-il complétement supprimé les commissions spéciales ?

On s'explique, par ce qui précède, que notre réponse se divisera en deux parties, l'une consacrée aux commissions spéciales de plus-value, l'autre à celles de taxation.

I.

12. *Les commissions spéciales de plus-value sont maintenues telles qu'elles sont prévue sdans la loi du 16 septembre 1807.* —

Les commissions spéciales de plus-value sont formellement maintenues, avec toutes leurs attributions, telles que les prévoit la loi du 16 septembre 1807, et cela, par ce motif, c'est que le législateur de 1865 l'a expressément déclaré lui-même, par l'organe de la commission qui a fait le rapport sur le projet de loi, et en a soutenu la discussion. On trouvera aux annexes un extrait du rapport de cette commission. Nous en rapporterons ici le passage suivant, qui nous paraît aussi topique que péremptoire :

« Une observation plus importante, qui a été accueillie « par la commission, doit être constatée : *c'est que les* « *taxes auxquelles se réfère l'article* 26 *de la loi actuelle ne* « *s'entendent nullement des rôles d'indemnité sur la plus-* « *value dont parle l'article* 20 *de la loi de* 1807 *et qui ne* « *sont ni de la même nature, ni soumises aux mêmes con-* « *ditions de recouvrement.* »

Cette citation établit que le législateur, non-seulement s'est rendu compte de la différence qui existe entre les taxes et les indemnités de plus-value, définies par la loi de 1807, et sur laquelle nous avons appelé l'attention dans nos remarques préliminaires, mais qu'en la faisant ressortir lui-même, il a donné une précision aussi grande que possible à sa déclaration portant qu'il n'entend rien modifier à la législation antérieure sur les indemnités de plus-value.

Ce texte est, pour nous, l'évidence même, et nous ne voyons rien d'utile à y ajouter, à l'appui de la proposition que nous avons énoncée.

13. *Examen de quelques objections faites contre la thèse du* § 12 *ci-dessus.* — Toutefois, nous ne devons pas laisser ignorer qu'elle a rencontré des contradicteurs. Voici les objections qui sont venues à notre connaissance : 1° Le texte qui vient d'être rapporté ci-dessus, objecte-t-on, se rattache à d'autres propositions qui le précèdent et où il

est parlé des taxes. Nous avons vainement cherché s'il s'y trouve une restriction, et, finalement, il nous a été impossible de donner à ce passage une signification autre que celle que nous avons indiquée; mais, pour que le lecteur puisse vérifier facilement ce qui en est de ce point de divergence, sans avoir à recourir au maniement, peu commode, de la collection des numéros du *Moniteur universel* de 1865, nous donnons, aux annexes, l'extrait complet de ce qui, dans le rapport de la commission spéciale, se rapporte aux articles 25 et 26.

2° Si le législateur de 1865 avait voulu faire une exception pour les commissions spéciales de plus-value, comment se fait-il qu'il ne l'ait pas mise, expressément, dans la loi ?

A cette seconde objection, sous forme interrogative, nous répondrons par cette autre question : Pour quels motifs le législateur de 1865 s'occupant, d'un bout de la loi à l'autre, des associations syndicales autorisées et libres, aurait-il eu à remanier la législation antérieure sur les plus-values ?

Comment l'aurait-il fait, alors que la commission déclare qu'elle n'entend pas y toucher ? On n'en trouve pas trace dans la délibération du Corps législatif.

3° On fait observer, comme troisième objection, qu'il n'existe pas un seul arrêt du Conseil d'État, au contentieux, postérieurement à 1865, qui établisse que les commissions spéciales sont maintenues.

Sur ce point, répondrons-nous, il faut d'abord savoir de quelle catégorie de commissions spéciales on entend parler. S'agit-il des commissions spéciales de plus-value ? Dans ce cas, il n'y a rien de plus facile à expliquer que cette absence d'arrêts. Il suffit de se demander avec quelles chances de succès on se risquerait à soutenir, devant le Conseil d'État, que le législateur de 1865 a modifié la législation antérieure sur les plus-values.

S'agit-il de commissions spéciales de taxation ?

Alors la réponse exige de plus amples développements qui ont leur place dans la deuxième partie ci-après (*).

II.

14. *C'est au conseil de préfecture que sont dévolues, d'après la loi de* 1865, *toutes les attributions contentieuses des*

(*) Avant de quitter cette partie de la question, nous citerons un argument qui a été produit dans la discussion d'une espèce, et qui vient à l'appui de la thèse que nous soutenons. Il s'agissait d'un endiguement de renclôture concédé par l'État, dans un décret du 21 juillet 1856, dont l'un des articles dit expressément : Le concessionnaire aura la faculté de poursuivre l'application de la loi du 16 septembre 1807, à raison de la plus-value qui serait acquise par l'exécution des travaux, aux terrains non enclos et compris dans le périmètre de la concession, conformément à l'article 30 de la loi de 1807. L'un des interlocuteurs a soutenu que l'acte de concession, rendu après enquête, répond exactement à l'objet prévu par l'article 32 de la loi de 1807, et il en a conclu que tout décret nouveau, ne pouvant que reproduire les mêmes dispositions, est parfaitement inutile. Ledit acte de 1856 ayant omis de fixer, suivant l'usage, le taux de l'indemnité de plus-value, le même opinant estime que cette lacune n'a pas besoin d'être comblée par un nouveau décret, et que *tout*, y compris le taux en question, devra être réglé par le tribunal compétent (le conseil de préfecture et, en cas d'appel, le Conseil d'État). Il lui a été répondu qu'un *décret spécial est indispensable pour fixer la proportion déterminée de la plus-value* que les intéressés auront l'obligation de payer au concessionnaire. Le juge a ici sa mission distincte de celle de l'État. A l'État seul, qui fait la concession du droit d'endigage, il appartient d'apprécier et de préciser l'étendue du droit accordé au concessionnaire, relativement à la part de plus-value qu'il pourra réclamer aux intéressés. Au juge il incombe de décider quel est le montant de la plus-value, et d'y appliquer le taux fixé par le décret au profit du concessionnaire ; mais il lui est interdit d'empiéter sur le rôle du Gouvernement qui précise l'étendue du droit concédé sur la plus-value.

Il nous semble bien que la doctrine soutenue dans cette réponse du contradicteur est seule conforme à la lettre et à l'esprit de l'article 20 de la loi du 16 septembre 1807.

« Art. 20. — Le montant de la plus-value obtenue par le dessé-

commissions spéciales dites de taxation. — *Les commissions spéciales de taxation*, si l'on veut bien se reporter à nos remarques préliminaires, ont des attributions moins bien

« chement sera divisé entre le propriétaire et le concessionnaire, « dans les proportions qui auront été fixées par l'acte de concession.

« Lorsqu'un desséchement sera fait par l'État, sa portion dans « la plus-value sera fixée de manière à le rembourser de toutes « ses dépenses. Le rôle des indemnités sur la plus-value sera arrêté par la commission et rendu exécutoire par le préfet. »

Lorsqu'il s'agit de travaux publics autres que des desséchements de marais, l'article 30 de la même loi dispose que le Gouvernement ne sera plus seulement remboursé de toutes ses dépenses, mais que l'indemnité pourra s'élever jusqu'à la valeur de la moitié des avantages que les propriétés intéressées auront acquis, et il ajoute : « Le *tout* sera réglé par estimation, *dans les « formes déjà établies par la présente loi*, jugé et homologué *par « la commission* qui aura été nommée à cet effet. »

Il nous semble qu'il est excessif de dire que ces mots : « *le tout* » suffisent pour autoriser le juge à statuer sur la proportion de plus-value accordée par l'État au concessionnaire, et que le juge violerait ainsi le principe supérieur de la séparation des pouvoirs. D'ailleurs ces mots : « le tout » sont immédiatement suivis et commentés par ceux-ci : le juge observera « *les formes établies déjà par la loi de* 1807. » Or, ces formes respectent essentiellement la distinction entre la compétence du juge et celle de l'État, et interdisent l'empiétement d'attributions qu'on prétendrait justifier par ces mots : « *le tout* ».

C'est aussi dans ce sens que, dans l'espèce, le ministre des travaux publics a donné des instructions au préfet, en vue de l'émission, sur la demande du concessionnaire, d'un règlement d'administration publique qui, complétant le premier, fixera la proportion concédée sur la plus-value, et le périmètre des terrains sur lesquels elle pourra être réclamée.

Dans l'espèce mentionnée ci-dessus, il y a un concessionnaire de l'endigage ; il peut être utile de faire remarquer que, lors même qu'en l'absence d'un concessionnaire, l'indemnité de plus-value serait réclamée pour le compte de l'État, il faudrait toujours qu'un décret en fixât la quotité Cette fixation est un acte de puissance publique, prévu par la loi de 1807, et ne saurait rentrer dans la compétence d'un conseil de préfecture ou d'un tribunal ; elle trouve naturellement sa place dans le décret spécial que l'article 32 exige pour l'application de l'article 30 de la loi de 1807.

définies par la loi de 1807 que celles des commissions spéciales de plus-value ; la jurisprudence du Conseil d'État, à cet égard. a progressivement comblé les lacunes de la loi. L'étude en est complexe en raison du nombre des décisions à consulter. Nous la supposons faite et connue. En commentant l'article 46 de la loi de 1807, M. Aucoc considère les commissions spéciales sous trois aspects, comme *agents administratifs*, en ce qu'elles classent les terrains, vérifient les plans, reçoivent les travaux, dressent les rôles de plus-value ; comme *conseil administratif*, en ce qu'elles donnent leur avis sur le mode d'entretien des travaux, et enfin comme *juges*, en ce qu'elles statuent sur les réclamations formées tant contre les bases que contre les rôles de la taxation.

L'article 26 de la loi de 1865 a enlevé aux commissions spéciales, dites de taxation, leur pouvoir de juridiction, pour l'attribuer au conseil de préfecture ; cela n'est ni contesté ni contestable, tant pour les syndicats autorisés du système de la loi de 1865 que pour ceux qui continuent à fonctionner sous l'empire de la loi de 1807. Les textes des articles 16 et 26 de la loi de 1865 sont formels en ce sens ; nous y renvoyons purement et simplement. Relativement aux syndicats du système de la loi de 1807, on a posé la question de savoir si le conseil de préfecture est compétent pour juger les contestations soulevées par la mise à l'enquête des bases de la cotisation, au même titre que celles qui sont soulevées par la publication du rôle des taxes individuelles. Par cela seul que, dans l'article 26 de la loi de 1865, le mot *contestations* est articulé dans sa généralité, sans faire de distinction entre les réclamations contre les bases de la contribution et les réclamations contre les applications individuelles de ces bases, il semble bien que le *pouvoir de juridiction* du conseil de préfecture est aussi étendu que celui de l'ancienne commission spéciale. Nous citerons dans ce sens deux arrêts du Conseil d'État statuant

au contentieux, l'un du 13 juin 1873 (Mme de Florans, V. *Annales* 1875, 11e cah., p. 760), et l'autre du 27 juin 1873 (syndicat de Moirans, *ibid.*, p. 789). Tous les deux ont pour objet direct de décider d'abord que pour les syndicats demeurant, encore après 1865, sous le régime de la loi de 1807, c'est à l'autorité supérieure seule qu'il appartient, par un décret délibéré en Conseil d'État, d'ordonner, s'il y a lieu, la révision des bases sur lesquelles reposent les contributions syndicales; mais, à cette occasion, et c'est là le but de notre citation, les deux arrêts déclarent que *les conseils de préfecture sont aujourd'hui compétents, aux lieu et place des anciennes commissions spéciales, pour statuer sur les contestations relatives à la révision du classement général des propriétés.*

Il suit de ce qui précède que, pour le jugement *des contestations soulevées par les taxes et leur assiette, il y a, depuis la loi de* 1865, *parité de situation pour les associations syndicales, qu'elles soient du système de la loi de* 1865 *ou de la loi de* 1807. C'est le conseil de préfecture qui doit juger toutes ces contestations.

15. *Sur quels points y a-t-il parité de situation entre les syndicats du système de la loi de* 1865 *et du système de la loi de* 1807? — Est-ce tout? Non; il y a encore parité de situation, quant à l'établissement de servitudes, quant à l'expropriation, et en ce qui concerne *la perception des taxes*, ces derniers mots étant d'abord pris dans leur sens restreint, c'est-à-dire en ce qui concerne le recouvrement qui est fait comme en matière de contributions directes. Ainsi le veut le troisième paragraphe de l'article 26 de la loi de 1865 qui dit qu'il sera procédé désormais dans les syndicats continués dans le système de la loi de 1807, conformément aux articles 15, 18 et 19 de la loi de 1865.

16. *Il n'y a plus parité de situation pour les deux caté-*

gories de syndicats susmentionnées, relativement à la procédure de la révision des taxes syndicales. — Jusque là, aucune difficulté; mais voici où la divergence éclate entre les deux systèmes de syndicats :

Lorsqu'en raison des changements survenus dans l'état et la nature des terrains ou dans les travaux, ou plus généralement, en raison d'une cause légitime, les bases de la contribution syndicale cessent d'être exactes et équitables, comment sera-t-il procédé pour mettre ces bases en rapport avec le nouvel état de choses?

D'abord, en ce qui touche les syndicats autorisés du système de la loi de 1865, cette loi (comme il est expliqué déjà ci-dessus dans nos remarques préliminaires) a fait de la bonne et vraie décentralisation, en donnant aux syndics élus, par l'association des intéressés, le droit de pourvoir à ous les besoins de modification reconnus dans l'assiette des taxes; cela résulte des articles 15 et 16 combinés de la loi de 1865, et cela est conséquent avec les articles 9 et 10 de la loi, d'après lesquels l'initiative de l'acte d'association, et par suite, l'initiative de la fixation des voies et moyens nécessaires pour subvenir à la dépense, appartient aux intéressés. L'homologation de la délibération de la commission administrative du syndicat sur ces objets et celle des rôles dressés par cette commission appartiennent ici, remarquons-le, au préfet qui rend les rôles exécutoires.

« Cette disposition (*), dit à ce sujet le rapport de la com-

---

(*) M. Aucoc, tome II, page 472, fait connaître que le Conseil d'État au contentieux a conclu de l'article 15 de la loi de 1865 que, si le jugement des réclamations soumises antérieurement à la commission spéciale est attribué désormais au conseil de préfecture, les attributions de cette commission, en ce qui touche l'assiette des taxes, sont transférées aux syndicats.

Cela confirme bien ce que nous venons d'indiquer ci-dessus; nous nous permettrons toutefois une remarque accessoire sur les arrêts qui sont cités à cette occasion (14 janvier 1869, syndicat de Roize et, 1er septembre 1869, syndicat de Tencin à Lancey). L'un

« mission législative chargée du projet de loi de 1865, cette « disposition, qui est l'une des plus importantes du projet « de loi, constitue une réforme réclamée depuis long- « temps. »

17. Quelle est à cet égard, après la loi de 1865, la situation faite aux syndicats continuant à fonctionner sous l'empire de la loi de 1807?

Suivant les uns, mais nous ne partageons pas cette opinion, le législateur de 1865 leur aurait fait la même situation qu'aux syndicats du système de la loi de 1865. Suivant les autres, et c'est à cette appréciation que nous nous rallions, les syndicats du système de 1807 ne peuvent procéder à la révision de l'assiette de leur taxe qu'avec l'autorisation préalable donnée par un décret délibéré en Conseil d'État et fixant l'étendue des modifications admises, et qu'avec le concours d'une nouvelle commission spéciale, nommée pour homologuer la nouvelle assiette des taxes. En citant ces deux opinions divergentes, nous prions de ne pas perdre de vue qu'il s'agit de la législation existante et non de l'étude d'une révision de cette législation.

Nous sommes arrivé, ici, à la partie la plus délicate et la plus difficile de notre sujet.

Pour l'élucider dans le sens où nous l'avons comprise, examinons successivement :

1° L'intention du législateur de 1865;

2° La jurisprudence du Conseil d'État statuant au contentieux;

3° La jurisprudence du Conseil d'État statuant comme conseil du gouvernement ou administrativement.

---

et l'autre des syndicats mentionnés sont des syndicats continuant à fonctionner sous le régime de la loi de 1807; or, l'auteur fait ici le commentaire de l'article 15 de la loi de 1865; il semble, dès lors, qu'il eût été préférable d'invoquer ici des arrêts relatifs des syndicats du système de la loi de 1865, s'il en existait.

I.

18. *Le législateur de 1865 avait l'intention de procurer aux syndicats du système de la loi de 1807, pour la révision légitime des taxes syndicales, les mêmes avantages qu'aux syndicats du système de la loi de 1865, mais cette intention n'a pas été réalisée par le texte de la loi.* — Il nous semble certain que le législateur, dans son œuvre de décentralisation du 21 juin 1865, avait l'intention de mettre aussi les syndicats du système de la loi de 1807 en possession d'une réforme depuis longtemps désirée, dans l'intérêt d'un fonctionnement moins compliqué, moins onéreux, quand il y a une modification à introduire dans l'assiette des taxes syndicales. Nous donnons aux annexes les extraits du rapport de la commission législative chargée du projet de la loi de 1865, en ce qui concerne les articles 15, 16, 25 et 26 de la loi; la lecture de ces documents ne paraît laisser aucun doute à ce sujet. Arrêtons-nous un instant au passage suivant :

« Quant à la perception des taxes, nous avons fait ressortir sur l'article 15 de la loi la différence qui existe « entre le système de cet article et celui de la loi de 1807. « Toutefois, *le* (*) syndicat chargé de l'administration de « l'association, qui a reçu de l'article 15 de la loi actuelle « mission de dresser les rôles des taxes ou des cotisations, ne « peut pas être *la* (*) même sous l'empire de la loi de 1807 « lorsque les travaux sont faits par l'État ou exécutés par « un entrepreneur; mais aux termes des articles 16 et 26 « de cette loi (de 1807) les syndicats sont nommés par le « préfet parmi des propriétaires ayant pour mission de « nommer des experts qui doivent procéder aux estima- « tions, et de fixer le genre et l'étendue des contributions

(*) Nous laissons subsister la petite faute d'impression qui se trouve au *Moniteur universel*.

« nécessaires pour subvenir aux dépenses de l'entretien et « de la garde des travaux, *ce qui rend l'article* 15 *appli-* « *cable.* »

Assurément, la rédaction de la justification que nous venons de citer aurait gagné à être plus complète, plus explicite et plus nette. Voici, en d'autres termes, le sens qu'elle nous paraît avoir : Il faut mettre de côté, d'abord, le cas où les travaux sont exécutés par l'État ou par un concessionnaire, et cela s'explique, parce qu'alors on a recours à la commission de plus-value. Mais lorsqu'il s'agit d'intéressés syndiqués, comme il est prévu à l'article 26 de la loi de 1807, c'est à une commission spéciale de taxation qu'on devrait avoir recours pour homologuer l'assiette des taxes. Dans ce dernier cas, le rapporteur de la loi de 1865 déclare, selon nous, par le passage cité, que, quoique ici les syndics soient nommés par le préfet au lieu d'être élus par les intéressés, comme dans le système de la loi de 1865, ce sont ces syndics qui doivent dresser les rôles, sous l'homologation du préfet qui les rendra exécutoires, car ces syndics sont, dans l'un et l'autre cas, chargés de l'administration de l'association, *ce qui rend l'article* 15 *applicable.*

On a, dans ledit rapport, constaté et déploré la complication extrême et les entraves de la marche des syndicats lorsqu'une modification est jugée nécessaire dans l'assiette des taxes (par exemple, un espace inculte, ou en eau, qui a été acquis à la culture, des terrains sur lesquels s'est élevée une construction, un ouvrage utile à l'association qui a été exécuté par l'un des associés et qu'il s'agit de mettre en ligne de compte comme apport, etc.). Il est donc tout naturel que l'on ait eu, en 1865, l'intention de faire de la décentralisation intelligente et utile, au bénéfice aussi bien des syndicats continuant à fonctionner sous l'empire de la loi de 1807 que des syndicats du système de la loi de 1865. Malheureusement, cette intention ne s'est pas traduite

nettement dans le texte de la loi et, par suite, ne se trouve pas réalisée à l'heure qu'il est. L'initiative des paragraphes deuxième et troisième de l'article 26 de la loi de 1865 a été prise, comme on sait, par le Conseil d'État, et la commission législative n'a fait qu'accepter ces additions, après en avoir reconnu les avantages, au point de vue des améliorations à faire aux dispositions de la loi de 1807.

La discussion, au Corps législatif même, n'a pas porté sur ces additions, et ne fournit aucune lumière sur le point particulier dont il s'agit ici.

II.

19. *D'après le Conseil d'État, statuant au contentieux, la révision de l'assiette d'une taxe syndicale du régime de la loi de 1807 est subordonnée à l'acquiescement préalable du Gouvernement, qui a seul qualité d'y pourvoir, au moyen d'un décret délibéré en Conseil d'État; ni le préfet ni le conseil de préfecture ne sont compétents pour homologuer le travail préparé en vue d'une révision de cette nature.* — Le Conseil d'État, statuant au contentieux, semble d'abord, d'après l'arrêt du 14 janvier 1869 (syndicat de Roize), vouloir suivre le législateur de 1865 dans la voie qu'on vient d'indiquer. (Voir *Annales* 1869, cahier de mars, p. 360, syndicat de Roize.) On y trouve ce considérant (dont la doctrine nous paraît abandonnée par les arrêts ultérieurs):

« En effet, les attributions des commissions spéciales, « en ce qui concerne la *détermination des bases* pour la « fixation des dépenses, ont été transférées par cette loi « (de 1865) aux *commissions syndicales*, et *le jugement des* « *réclamations*, quant à la fixation du périmètre et au clas« sement des propriétaires, ont (?) été attribuées au con« seil de préfecture. »

Le côté contestable et promptement abandonné de la

doctrine, contenue dans le premier paragraphe de cette citation, apparaît dès qu'on met en ligne de compte :

1° Que pour reviser les bases d'une taxation syndicale du régime de la loi de 1807, il y a des décrets ou des ordonnances à rapporter, en totalité ou en partie;

2° Que la loi du 21 juin 1865 ne renferme aucun article, ni pour dépouiller le Gouvernement de la mission et du droit de rapporter ces décrets ou ordonnances, ni pour agrandir d'autant la mission et le droit de la commission administrative du syndicat du système de la loi de 1807;

Et 3° Que ladite loi de 1865 n'a pas abrogé l'article 14 de la loi du 16 septembre 1807.

Il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer que le considérant précité de l'arrêt du 14 janvier 1869 (syndicat de Roize) ne doit pas arrêter l'attention, comme s'il s'agissait d'une doctrine péremptoire et définitive. D'une part, cet arrêt a été prononcé dans des circonstances tellement particulières (coïncidence avec le vote de la loi de 1865), qu'elles sont vraiment exceptionnelles; d'autre part, l'arrêt déclare aussi qu'il n'a pas été procédé à la révision suivant les dispositions combinées des lois de 1807 et de 1865, et que le conseil de préfecture a eu raison de se déclarer irrégulièrement saisi des demandes du syndicat.

En tous cas, la doctrine susmentionnée ne tarde pas à faire place à une autre qui se dégage des arrêts suivants :

8 août 1872. — (Syndicat de Lancey, — *Ann.* 1874, cahier de févr., p. 68.)

4 avril 1873. — (Syndicat de Lancey, — *Ann.* 1875, cahier de mars, p. 210.)

27 juin 1873. — (Syndicat de Moirans, — *Ann.* 1875, cahier de nov., p. 788.)

1er août 1873. — (4 espèces, syndicats de l'Isère. — *Ann.* 1875, cahier de novembre, p. 872.)

Les abonnés de nos *Annales* ayant ces arrêts sous la main, nous nous bornerons à faire, en ce qui touche la doctrine, les remarques suivantes :

L'arrêt du 8 août 1872 (syndicat de Lancey), dans l'a-

vant-dernier considérant, revendique formellement pour le gouvernement, seul, la compétence de juger si des circonstances nouvelles motivent des modifications dans les bases mêmes de la taxation syndicale, et quelle doit être l'étendue de ces modifications. Il annule l'arrêté du conseil de préfecture de l'Isère du 2 novembre 1869 qui avait homologué un travail d'expert et une délibération de la commission syndicale, en vue de la modification de l'assiette des taxes.

L'arrêt du 4 avril 1873 ne fait que développer les conséquences du précédent.

L'arrêt du 27 juin 1873 (syndicat de Moirans) mérite tout spécialement l'attention. Dans les deux premiers considérants, l'arrêt développe complétement la doctrine du Conseil d'État au contentieux, dans la question spéciale dont il s'agit ici, à savoir que, s'il y a des circonstances nouvelles de nature à motiver une demande de modifications dans l'assiette des taxes, c'est à l'autorité supérieure seule qu'il appartient d'y pourvoir, au moyen d'un décret délibéré en Conseil d' État

Le troisième considérant déclare que le préfet n'avait pas qualité pour approuver la délibération syndicale relative à la révision de l'assiette des taxes, et, dans son dispositif, l'arrêt annule l'arrêté du conseil de préfecture du 10 juin 1871 qui avait homologué le travail fait, par l'expert, en vue de ladite révision.

Les quatre arrêts du 1er août 1873 ont été rendus dans des circonstances analogues, et confirment la doctrine précitée.

Nous ne voyons rien d'utile à y ajouter, si ce n'est d'appeler l'attention sur ce que le Conseil d'État, *au contentieux*, refuse au conseil de préfecture le pouvoir d'homologuer le travail des experts, en vue de la révision de l'assiette des taxes, et sur ce que, dans les arrêts à notre connaissance jusqu'ici, il n'est pas dit (parce que dans ces espèces il n'y avait pas nécessité de le dire au contentieux) à qui est

dévolu le pouvoir de cette homologation. D'après l'article 14 de la loi de 1807, cette homologation est, comme on l'a déjà rappelé, dans les attributions dites administratives de la commission spéciale.

III.

20. *D'après le Conseil d'État statuant comme conseil du Gouvernement, une commission spéciale est instituée, encore après la loi de* 1865, *pour homologuer le travail fait en vue de la révision de l'assiette des contributions syndicales du régime de la loi de* 1807. — *Le Conseil d'État, statuant administrativement*, ou comme conseil du Gouvernement, a résolu la question dont il s'agit, en décidant qu'une commission spéciale doit être nommée, même après la loi de 1865, pour homologuer le travail fait en vue de la révision de l'assiette des taxes syndicales; autrement dit, les commissions spéciales de taxation ne sont pas complétement supprimées; leurs attributions de juge sont seules dévolues au conseil de préfecture.

Voici quelques renseignements sommaires sur cette face de la question.

Une note, du 21 janvier 1874, de la section des travaux publics du Conseil d'État fait connaître, au ministre des travaux publics, les raisons pour lesquelles le Conseil d'État n'adopterait pas un projet de décret préparé pour le syndicat du bas Voreppe, continuant à fonctionner dans le système de la loi de 1807, projet qui *se borne à autoriser* la révision du classement des propriétés imposables, comprises dans le périmètre du syndicat. Une décision du Conseil d'État, statuant au contentieux le 20 août 1873, avait annulé, pour incompétence, l'arrêté du conseil de préfecture homologuant l'estimation et le classement des propriétés imposables. La Note rappelle que l'article 14 de la loi du 16 septembre 1807, applicable en vertu [des articles 26,

33 et 42, à la construction et à l'entretien des digues de défense, stipule que, même en l'absence de réclamations, l'estimation sera, dans tous les cas, soumise à une commission spéciale organisée conformément au titre x de la loi, pour être jugée et homologuée par elle; la commission peut décider outre et contre l'avis des experts. La loi de 1807 prévoit, tout à la fois, des attributions administratives et des attributions contentieuses de la commission spéciale; et si ces dernières, aux termes de l'article 26 de la loi du 21 juin 1865, sont dévolues aux conseils de préfecture, les attributions administratives restent régies exclusivement par la législation antérieure. La Note indique ensuite comme modèle du décret à intervenir, pour constituer la commission spéciale, le décret adopté en Conseil d'État, le 17 janvier 1866, pour l'entretien du dessèchement des marais de Parempuyre (Gironde).

En conséquence de cette Note, le projet a été rédigé en huit articles, dont nous ne rapporterons que les deux premiers.

« Article 1er. — Il sera procédé à la révision du classe-
« ment des propriétés imposables comprises dans le péri-
« mètre du syndicat des digues du bas Voreppe.

« Art. 2. — Il sera institué, conformément au titre X
« de la loi du 16 septembre 1807, une commission spéciale
« chargée d'homologuer l'estimation par classe desdites
« propriétés. »

Postérieurement à la date de la susdite Note, ont été rendus plusieurs décrets analogues, pour autoriser des révisions de l'assiette des taxes dans des syndicats continuant à fonctionner sous le régime de la loi de 1807 (ceux de l'Isère entre autres), et ces décrets ont chaque fois institué des commissions spéciales.

Dans un avis du Conseil d'État, du 26 novembre 1874, sur le projet de décret portant extension du périmètre général

du syndicat de Lancey à Grenoble, on trouve, en confirmation de ce qui précède, ce considérant :

« Considérant que l'article 26 de la loi du 21 juin 1865, « en transférant aux conseils de préfecture les attributions « contentieuses des commissions spéciales instituées con- « formément au titre X de la loi du 16 septembre 1807, « les a laissées subsister pour l'exercice de toutes les attri- « butions ayant un caractère purement administratif que « cette loi leur avait conférées. »

On pourrait encore citer, dans le même sens, la Note de la section des travaux publics du Conseil d'État du 14 juillet 1875 et le décret du 10 août 1875, relatifs à la révision de l'assiette des taxes dans le syndicat de Moirans, ainsi qu'une Note délibérée en Conseil d'État, à la date du 6 décembre 1875, sur le projet de décret autorisant la révision de l'assiette des taxes syndicales dans le syndicat supérieur de la rive gauche de l'Isère. Dans les deux cas, des commissions spéciales sont instituées, en réduisant leurs attributions à ce qu'a laissé subsister l'article 26 de la loi de 1865 qu'on recommande de viser.

Il n'est pas douteux que c'est à un rôle bien insignifiant que sont réduites les commissions spéciales de taxation maintenues, comme on vient de le dire, par le Conseil d'État ; elles homologuent, en l'absence de toute réclamation, le travail qu'un syndicat du régime de la loi de 1807 fait préparer, en vue de la révision des bases de la contribution syndicale.

Dès qu'une réclamation se produit à l'enquête ouverte sur ce travail, le conseil de préfecture devient compétent, d'après l'article 26 de la loi du 21 juin 1865.

On se demande alors, tout naturellement, si le Consei d'État, interprète de la loi et connaissant l'intention du législateur de 1865, n'aurait pas mieux fait de décider, de suite, la suppression des commissions spéciales dites de taxation.

En réalité, une telle solution de la question ne serait pas actuellement admissible.

A qui attribuerait-on le rôle susmentionné de la commission spéciale? Au préfet? Au préfet, en conseil de préfecture? Tout en reconnaissant que la seconde solution aurait plusieurs avantages, et que les deux conservent la garantie de l'appel au Conseil d'État, nous sommes bien obligé de reconnaître aussi qu'elles manqueraient d'une base légale. On plaiderait, vraisemblablement avec succès, devant le Conseil d'État, au contentieux, qu'elles violent la loi, en ce que l'article 14 de la loi du 16 septembre 1807 n'est pas abrogé.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

21. Résumons-nous. Nous croyons avoir établi à l'aide de documents incontestables :

1° Que *les commissions spéciales de plus-value subsistent* avec leurs attributions, comme elles sont réglées par la loi du 16 septembre 1807, le législateur de 1865 ayant déclaré que l'article 26 de la loi du 21 juin 1865 ne les concernait pas (*);

2° En ce qui touche *les commissions spéciales dites de taxation :*

a) Que *leurs attributions purement contentieuses* sont *toutes transférées* par ledit article 26 aux conseils de préfecture, qu'il s'agisse de statuer *sur les réclamations contre les taxes syndicales ou contre l'assiette de ces taxes;*

b) Que *l'intention* du législateur de 1865 était de faire profiter les syndicats continuant à fonctionner sous l'empire de la loi de 1807 du bénéfice de la même réforme de décentralisation qu'il a adoptée pour les syndicats autorisés

(*) Et n'ayant en vue que de simplifier l'organisation et le fonctionnement des associations, tandis que pour les applications de la loi de 1807, il n'est pas constitué d'*associations*.

du système de la loi de 1865, en ce qui concerne la révision des taxes; mais que *cette intention n'est pas réalisée dans le texte de la loi du 21 juin 1865*;

c) Que le Conseil d'État, statuant *au contentieux*, n'admet pas qu'un syndicat du système de la loi de 1807 procède à la révision de l'assiette de ses taxes, sans y être autorisé au préalable par un décret délibéré en Conseil d'État; qu'il ne reconnaît pas au préfet, ni au conseil de préfecture, le pouvoir d'homologuer le travail préparé pour ladite révision, mais qu'il n'a pas eu à décider, jusqu'ici, à qui appartient ce pouvoir d'homologuer;

d) Que *le Conseil d'État, statuant comme conseil du Gouvernement, continue à instituer des commissions spéciales*, chargées d'homologuer le travail préparé pour la révision de l'assiette des taxes syndicales du régime de la loi de 1807, et qu'en cela il ne fait que respecter scrupuleusement la prescription de l'article 14 de cette loi.

22. Le résumé qui précède constitue nos conclusions, en ce qui touche la législation et la jurisprudence en vigueur sur les commissions spéciales de la loi du 16 septembre 1807.

Quant aux améliorations désirables, nous émettrions volontiers le vœu qu'à l'occasion de la révision dont sera, tôt ou tard, l'objet la loi du 21 juin 1865, on pût, alors, réaliser l'intention du législateur de 1865 de supprimer complétement celles des commissions spéciales que, pour abréger, nous avons appelées les commissions spéciales de taxation.

En ce qui touche le mode de nomination des commissions spéciales de plus-value, il nous paraîtrait aussi susceptible d'être modifié par une loi, pour le mettre en harmonie avec les idées actuelles sur le régime de la propriété.

Paris, le 14 juillet 1876.

Annexes de la Note sur les Commissions spéciales de la loi du 16 septembre 1807.

ANNEXE N° 1.

Extrait du rapport fait au nom de la Commission chargée d'examiner le projet de loi relatif aux associations syndicales, par M. Senéca, député au Corps législatif.

(*Moniteur universel* du 29 mai 1865, page 687.)

TITRE V.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

L'article 19 du projet de loi, devenu l'article 25 de la loi, portait que, dans le cas où l'inexécution, l'interruption ou le défaut d'entretien pourrait avoir des conséquences nuisibles à l'intérêt public, le préfet, après avoir mis en demeure le syndicat, pourra faire procéder d'office à l'exécution desdits travaux. Cet article a paru conférer au préfet des pouvoirs qui excéderaient les justes exigences de l'intérêt public au préjudice de la propriété.

La commission avait proposé l'amendement suivant :

« Dans le cas d'inexécution des travaux en vue desquels une association aura été autorisée, le préfet pourra rapporter, s'il y a lieu, après mise en demeure, l'arrêté d'autorisation.

« Il sera statué par un décret rendu en Conseil d'État, si l'autorisation a été accordée en cette forme.

« Dans le cas où l'interruption ou le défaut d'exécution des travaux entrepris par une association autorisée pourrait avoir des conséquences nuisibles à l'intérêt public, le préfet, après avoir mis en demeure le syndicat, pourra faire procéder à l'exécution desdits travaux. »

Un second amendement, proposé par la commission, a consisté à rédiger la fin du dernier paragraphe en ces termes : « Pourra faire procéder à l'exécution des travaux nécessaires pour obvier à ces conséquences. »

Il n'y a de changement appréciable à signaler dans la rédaction

adoptée par le Conseil d'État que la suppression du mot *autorisée* dans le troisième paragraphe, d'où il résulte que les associations libres comme les associations autorisées sont soumises à la sanction qui y est écrite. Cependant, aux termes de l'article 5 de la loi, les associations libres, qui se forment sans l'intervention de l'administration, ne constituent que des sociétés privées; cette objection aurait arrêté votre commission s'il s'était agi de continuer les travaux dans l'intérêt de l'entreprise, mais elle s'évanouit, si l'on considère que le préfet a le pouvoir d'intervenir, non comme administrateur, mais par mesure de police, et que l'intérêt public, qu'il a mission de sauvegarder, est le principe et le terme de son intervention.

L'adoption par le Conseil d'État du dernier amendement proposé par la commission l'a donc déterminé à adopter l'article 25.

L'article 21 du projet de loi, en disant que les dispositions des lois antérieures seront abrogées en ce qu'elles avaient de contraire à la présente loi, au lieu de résoudre les difficultés, laissait le champ libre à toutes les interprétations. Nous n'avons pas à examiner quelles eussent été ces difficultés, si l'article 14 du projet de loi qui reconnaissait les associations forcées, eût été maintenu Mais il était évident que, par la suppression de cet article, et en présence d'associations dont la formation dépendait de la volonté d'un certain nombre d'intérêts privés, l'intérêt public ne pouvait être subordonné aux résistances qu'il pouvait rencontrer de ce côté, et qu'il devait conserver ses moyens d'action qu'il tenait de lois spéciales. La loi du 16 septembre 1807 sur les endiguements et sur le desséchement des marais, la loi du 14 floréal an XI sur le curage des rivières, restent donc en vigueur. C'est ce que votre commission avait proposé de déclarer en ces termes :

« La loi du 16 septembre 1807 et la loi du 14 floréal an XI continuent d'être exécutées, à défaut d'associations autorisées, dans les cas prévus par les numéros 1, 2 et 3 de l'article 1er de la présente loi. »

Le Conseil d'État y a substitué la rédaction du premier paragraphe de l'article 26, auquel la commission a adhéré. Mais en même temps le Conseil d'État a ajouté des dispositions nouvelles, qui modifient plusieurs points importants de la loi de 1807. Votre commission n'avait pas reconnu à cette dernière loi un caractère de perfection; mais elle avait pensé que la révision qu'il pouvait y avoir lieu d'en faire n'était pas nécessairement inhérente à une loi sur les associations syndicales, qui doit avoir pour résultat d'en rendre l'application moins fréquente.

Votre commission avait aussi pensé que, si la révision de la loi de 1807 devait avoir lieu, elle porterait au moins aussi utilement sur l'ensemble de son système que sur quelques-unes de ses dispositions. Il y a même eu des observations échangées à cet égard au sein de la commission avec MM. les commissaires du Gouvernement. Quoi qu'il en soit, votre commission a dû examiner si les additions faites par le Conseil d'État procuraient des avantages propres à les justifier. Les modifications s'appliquent : 1° aux commissions spéciales; 2° aux recouvrements des taxes; 3° à l'expropriation; 4° aux servitudes.

Les commissions spéciales sont composées de sept membres, pris parmi les personnes qui sont présumées avoir le plus de connaissances relatives, soit aux localités, soit aux divers objets sur lesquels ils ont à prononcer, Aux termes de l'article 44 de la loi de 1807, ses membres sont nommés par l'Empereur. Leurs attributions sont les mêmes que celles des conseils de préfecture pour tout le contentieux relatif aux entreprises de desséchement de marais ou d'autres ouvrages énoncés en la loi de 1807 (Cons. d'État, ordonnance du 9 septembre 1819, etc.).

Quant à la perception des taxes, nous avons fait ressortir sur l'article 15 de la loi la différence qui existe entre le système de cet article et celui de la loi de 1807. Toutefois, le syndicat chargé de l'administration de l'association, qui a reçu de l'article 15 de la loi actuelle mission de dresser les rôles des taxes ou de cotisations, ne peut pas être la même sous l'empire de la loi de 1807, lorsque les travaux sont faits par l'État ou exécutés par un entrepreneur; mais, aux termes des articles 16 et 26 de cette loi, les syndics sont nommés par le préfet parmi des propriétaires ayant pour mission de nommer des experts qui doivent procéder aux estimations, et de fixer le genre et l'étendue des contributions nécessaires pour subvenir aux dépenses de l'entretien et de la garde des travaux, ce qui rend l'article 15 applicable.

Une observation plus importante qui a été accueillie par la commission doit être constatée : c'est que les taxes auxquelles se réfère l'article 26 de la loi actuelle ne s'entendent nullement des rôles d'indemnité sur la plus-value dont parle l'article 20 de la loi de 1807, et qui ne sont ni de la même nature ni soumises aux mêmes conditions de recouvrement.

Quant aux taxes à recouvrer aux termes de la loi du 14 floréal an XI, l'article 3 de cette loi porte que les rôles de répartition des sommes nécessaires au payement des travaux d'entretien, réparation ou reconstruction seront dressés sous la surveillance du

préfet, rendus exécutoires par lui, et le recouvrement s'en opérera de la même manière que celui des contributions publiques. Le remplacement de cet article par l'article 15 de la loi ne peut soulever d'objection.

Relativement à l'expropriation et aux servitudes, l'article 26 substitue à la loi du 3 mai 1841 l'application de l'article 16 de la loi du 21 mai 1836, et aux règles ordinaires de compétence et de procédure l'article 5 de la loi du 10 juin 1854, pour les cas d'endiguement, de curage et de dessèchement des marais exécutés par mesure de haute administration ou de police. Cette disposition a paru à votre commission tendre à généraliser une simplification de formalités; elle n'y a pas vu de sujets sérieux d'inquiétude pour le droit de propriété, surtout en se rappelant que l'article 16 de la loi du 21 mai 1836 ne s'appliquera pas, aux termes de l'article 18 de la loi, sans une déclaration préalable d'utilité publique, par décret rendu en Conseil d'État, et que l'article 5 de la loi du 10 juin 1854 forme un précédent reproduit et confirmé par des lois postérieures.

C'est ici que se présente, sous un aspect nouveau, l'amendement de l'honorable M. Martel, sur le n° 2 de l'article 1er relatif au curage des petites rivières, etc., amendement qui consiste à supprimer les mots : « Approfondissement, redressement et régularisation ». La question se reproduit sur l'article 26, parce que cet article renvoie au n° 2 de l'article 1er, tel qu'il est rédigé, et rend par conséquent la loi de floréal an XI applicable à l'approfondissement, au redressement et à la régularisation des cours d'eau comme au curage proprement dit. Mais c'est à un règlement d'administration publique et non au préfet qu'il appartiendra, comme il a appartenu jusqu'à présent, de prescrire ces sortes de mesures (Conseil d'État, 13 mars 1855, etc.). Le préfet conserve la police des eaux, le curage simple et les pouvoirs d'autoriser qui lui ont été conférés par les décrets de décentralisation du 25 mars 1852 et du 13 avril 1861. C'était ainsi que la loi de floréal an XI était interprétée et exécutée. Or, en disant que cette loi continuera d'être exécutée, on n'innove pas, on maintient. Une dernière observation, c'est qu'à défaut d'association, il faut bien que, par mesure d'utilité publique, le Gouvernement puisse faire ce qu'une association aurait été autorisée à faire. Or, les associations elles-mêmes avaient ce droit jusqu'à présent, lorsqu'elles étaient autorisées par décret impérial.

Quant aux autres lois qui ne sont pas mentionnées dans l'article 26, il est hors de doute que celles qui font la base de l'asso-

ciation continueront à être exécutées comme les lois sur l'irrigation et le drainage; il en sera de même des lois qui confèrent des pouvoirs de police aux maires et aux préfets.

Tels sont, messieurs, les résultats de l'examen auquel s'est livré votre commission. Elle avait à seconder une auguste et féconde initiative pour le développement de la richesse agricole. Votre commission n'y a pas épargné ses efforts. Sans se dissimuler les difficultés qui peuvent se révéler dans l'exécution de la loi, elle a foi dans la puissance de l'association aidée, mais non contrainte, dans sa formation; secourue, mais non dominée dans son action. Elle se garde bien néanmoins d'exclure les mesures de haute administration et de police que peut réclamer l'utilité publique. Que le bien se fasse, c'est le vœu de votre commission, c'est le but de la loi dont elle m'a chargé d'avoir l'honneur de vous proposer l'adoption.

ANNEXE N° 2.

Extrait de l'exposé des motifs du projet de la loi du 21 juin 1865.

(Art. 16.)

L'article 16 porte que les contestations relatives à la fixation du périmètre des terrains à défendre ou à améliorer, la division de ces terrains en classes, suivant le degré d'intérêt, ainsi que les contestations relatives à la répartition et à la perception des taxes et à l'exécution des travaux seront jugées par le conseil de préfecture, sauf recours au Conseil d'État.

Cette disposition, qui est l'une des plus importantes du projet de loi, constitue une réforme réclamée depuis longtemps. Elle supprime pour les travaux défensifs la juridiction des commissions spéciales instituées par la loi du 16 septembre 1807.

Déjà, en 1842, dans le projet de loi relatif aux endiguements présenté à la Chambre des pairs, le ministre des travaux publics signalait les inconvénients des commissions spéciales et en proposait la suppression.

Les commissions spéciales avaient paru, en 1807, offrir des garanties plus complètes que les conseils de préfecture pour l'arbi-

trage à prononcer entre les intéressés, relativement au classement des propriétés et à la répartition des dépenses. Mais, après avoir arrêté ce classement et opéré cette répartition à l'origine de la constitution d'une association, les commissions spéciales cessent d'exister. Cependant il survient souvent des modifications dans la nature et l'état des terrains ou dans les travaux de défense ou d'amélioration, et les bases fixées par les commissions spéciales peuvent cesser d'être exactes. Comment mettre la répartition des charges syndicales en rapport avec le nouvel état des choses? Il faut recourir à un nouveau décret, à une nouvelle commission spéciale: de là des complications regrettables. Il est presque impossible aujourd'hui de reviser les bases de la répartition, même lorsque leur inexactitude est flagrante. Il est donc bien préférable de substituer à cette juridiction exceptionnelle et temporaire des tribunaux permanents ayant pouvoir de connaître de toutes les modifications successives qu'il peut être nécessaire d'apporter aux bases de la répartition; ces tribunaux permanents sont les conseils de préfecture, déjà juges dans les questions de contributions aux travaux de curage, et chargés de statuer, dans tous les cas, sur la perception des taxes.

ANNEXE N° 3.

Extrait (relatif aux articles 15 et 16 de la loi) du rapport fait au nom de la Commission (projet de la loi du 21 juin 1865), par M. Sénéca.

(*Moniteur universel* du 28 mai 1865, page 681.)

L'article 15 simplifie les formalités relatives aux taxes et s'éloigne de la loi de 1807.

L'article 26 de cette loi (1807) porte : « A compter de la réception des travaux, l'entretien et la garde seront à la charge des « propriétaires tant anciens que nouveaux. Les syndics déjà nommés, auxquels le préfet pourra en adjoindre deux ou quatre pris « parmi les nouveaux propriétaires, proposeront au préfet des « règlements d'administration publique qui fixeront le genre et « l'étendue des contributions nécessaires pour subvenir aux dépenses. La commission spéciale donnera son avis sur ces projets « de règlement, et, en les adressant au ministre, proposera aussi

« la création d'une administration composée de propriétaires qui « devra faire exécuter les travaux. Il sera statué sur le tout en « Conseil d'État. »

D'après l'article 15 (loi de 1865), les taxes ou cotisations « seront « recouvrées sur des rôles dressés par les syndicats et rendus « exécutoires par le préfet.

« Le recouvrement en sera fait comme en matière de contribu- « tions directes. L'article rentre dans les termes de la loi du 14 flo- « réal an XI ; il n'a donné lieu à aucune observation. »

L'article 15 a été adopté par le Corps législatif dans la séance du 20 mai 1865, sans la moindre modification.

« L'article 16 a donné lieu à un amendement de la commission, « qui a proposé d'ajouter la division des terrains de différentes « classes aux objets qui pourraient donner lieu à contestations. « C'était reconnaître explicitement, à l'occasion de la compétence, « une règle importante qui doit être souvent une des conditions « fondamentales de l'association.

« Du reste, l'attribution au conseil de préfecture de matières « manifestement administratives, la suppression des commissions « spéciales établies par la loi du 16 septembre 1807, ne sont qu'un « retour au droit commun. »

L'article 17 est une disposition, etc.....

ERRATUM.

Dans le dernier cahier des *Annales*, page 338, ligne 10, au lieu de $0^m,01$, il faut lire $0^m,10$.

CHRONIQUE.

Novembre 1876.

N° 50

Chemins de fer. — Statistique. — Autriche-Hongrie. — A la fin de 1870, la longueur des lignes de chemins de fer en exploitation, était de 9.425 kilomètres pour l'empire d'Autriche-Hongrie; à la fin de 1875, elle était de 16.495 kilomètres, soit une augmentation de 7.070 kilomètres pour cette période quinquennale.

En Hongrie seulement, le réseau des chemins de fer de l'État a un développement de 1.071 kilomètres dont 792 pour le réseau septentrional et 279 pour le réseau méridional.

Le matériel roulant a coûté jusqu'à présent une somme de 33.660.000 francs.

Les recettes brutes ont été de 15.358.000 francs en 1875, en augmentation de 1.101.850 francs sur 1874. Les dépenses ayant été de 11.807.000 fr. en 1875, le produit net a été de 3.551.000 fr., il n'avait été que de 2.304.500 francs en 1874.

Australie. — Les chemins de fer de l'Australie sont en voie de développement : pendant l'année financière qui se terminait le 30 juin 1875, les dépenses relatives à la construction de chemins de fer se sont élevées à 39.773.000 francs.

Voici quelques chiffres relatifs aux chemins de fer de l'Australie.

Dans la South Australia (Australie du Sud), la voie a une largeur de 1^m^,60; en Tasmanie, elle est de 1^m^,08; elle a cette même largeur dans la Nouvelle-Zélande, où elle a coûté 94.500 francs par kilomètre; dans le Queènsland, où le prix du kilomètre a été de 283.500 francs, la largeur de la voie est de 1^m^,60; en Victoria, le prix du kilomètre a été de 112.500 francs; dans la Nouvelle-Galles du Sud, où la voie est de 1^m^,44, le prix du kilomètre a été de 261.000 francs.

Chine.—Le premier chemin de fer qui ait été construit en Chine vient d'être mis en exploitation sur la moitié de sa longueur; il est en pleine construction sur l'autre moitié. Cette ligne ferrée, qui doit s'étendre de Shang-Haï à Woosung, aura 16 kilomètres de longueur; elle s'arrête aujourd'hui à la station intermédiaire de Kangwan. La voie, dont la construction n'a présenté aucune difficulté, a une largeur de $0^{m},75$; les rails Vignole, posés sur traverses, pèsent environ 15 kilogrammes par mètre. La première machine « Pioneer » pesait seulement 3 tonnes avec son approvisionnement d'eau et de charbon; deux autres machines du poids de 9 tonnes, le « Celestial Empire » et le « Flowery Land » (la terre des Fleurs), ont remplacé le Pioneer dès l'ouverture de la ligne.

Sans vouloir entrer dans d'autres détails, nous dirons que, par mesure de précaution, en vue de l'emploi de chauffeurs indigènes, les chaudières ont été construites de manière à pouvoir résister à de fortes pressions; il y a des wagons de première, seconde et troisième classe.

La dépense de construction était évaluée à 750.000 francs.

Matériel roulant des chemins de fer anglais. — Le journal anglais « *Engineering* » fournit les chiffres suivants relatifs au matériel roulant des principales lignes ferrées d'Angleterre.

Les dépenses faites pour le matériel roulant sont les suivantes :

NOM DES COMPAGNIES.	DÉPENSES à la fin de 1875	DÉPENSES pour le 1er semestre 1876.
	francs.	francs.
London and North Western.	178.850.000	792.000
Midland.	160.699.000	
North Eastern.	217.895.000	8.468.750
London, Brighton, etc.	33.314.000	1.081,500
Metropolitan.	6.372.000	
Great Northern.	72.889.000	2.500.000

Approximativement on peut dire que le « *London and North Western* » a employé à la construction de son matériel roulant le 1/9 de la dépense totale; la proportion est la même pour le « *Midland* »; elle s'élève à 1/7 pour le « *North Eastern;* » elle n'est que de 1/14 pour le « *London Brighton and South Coast* », qui n'a que très-peu de matériel pour le transport des minerais du charbon; cette proportion s'abaisse encore, à 1/30 environ pour

le « *Metropolitan* »; enfin elle est environ 1/8 pour le « *Great-Northern* ».

Il n'est pas sans intérêt de comparer les dépenses faites pour le matériel roulant avec les recettes brutes. Nous donnons ici les recettes pour le premier semestre de 1876 :

NOM DES COMPAGNIES.	RECETTES brutes du 1er semestre 1876.	PRIX du matériel roulant.
	francs.	francs.
London and North Western	120.654.000	178.870.000
Midland	77.160.000	160.699.000
North Eastern	85.472.000	217.895.000
London, Brighton, etc.	24.142.000	33.314.000
Metropolitan	6.026.000	6.572.000
Great Northern	38.472.000	72.889.000

Si l'on remarque que le premier semestre est généralement plus productif que le second, on voit que, à peu près, les recettes brutes sont du même ordre de grandeur que le prix du matériel roulant: le « *Metropolitan* », qui transporte surtout des voyageurs, fait exception à cette règle.

Enfin nous donnons ci-dessous le nombre des véhicules appartenant à chacune des compagnies déjà citées.

NOM DES COMPAGNIES.	NOMBRE des locomotives.	NOMBRE des wagons de toute nature.
London and North Western	2.019	46.173
Midland	1.196	34.163
North Eastern	1.331	78.657
London, Brighton, etc.	274	6.208
Metropolitan	44	219
Great Northern	533	15.024

Augmentation de la longueur des rails.— Les compagnies des chemins de fer, d'après les *Comptes rendus de la Société de l'industrie minérale*, ont une tendance à l'emploi de rails d'une longueur supérieure à 6 mètres, dimension qui a été adoptée pendant longtemps. C'est ainsi que, à l'usine de Terrenoire, on lamine des rails de 9 à 10 mètres pour les chemins de fer turcs et de la Haute Italie; on peut même sans difficulté aller plus loin, car certaines forges, pour faire des rails de 6 mètres, les laminaient à

12 mètres et les coupaient au milieu, évitant ainsi le déchet résultant de la moitié des rognures.

Aux États-Unis on dépasse ces dimensions : la compagnie du « *Boston and Providence Railroad* » emploie des rails en acier Bessemer de 18^{m},25 de longueur fabriqués par les forges de Edgar Thomson : ces rails sont également employés dans certains chemins de fer de l'Amérique du Sud.

Enfin, d'après le « *Journal of the Franklin Institute* », on a obtenu aux forges de Ebbw Vale des rails de 27,20 et aux forges de Dowlais, les deux plus longs rails qui aient été laminés jusqu'à ce jour : l'un a 31^{m},95 et l'autre 32^{m},80.

L'orage du 5 juin 1873 à Elbeuf. — Nous extrayons d'un rapport de M. Tourné, conducteur des ponts et chaussées, quelques détails sur un orage qui s'est abattu sur Elbeuf le 5 juin 1873.

La pluie d'orage a duré sans interruption de huit heures et demie à dix heures et demie du soir : le pluviomètre de l'administration, qui ne peut accuser que 0^{m},051 de hauteur d'eau, déborda, ce qui ne permit pas d'évaluer exactement la quantité d'eau tombée; mais l'auteur du rapport, d'après la mesure du volume de l'eau contenue dans de bonnes et solides embarcations, que la pluie avait remplies, est porté à admettre que la hauteur d'eau tombée a atteint 0^{m},075.

Le bassin dont les eaux se déversent à Elbeuf a une superficie que l'on peut évaluer à 1.150 hectares. La quantité d'eau reçue pendant l'orage sur ce bassin atteint le chiffre de

$$11.500.000 \times 0{,}075 = 860.000 \text{ mètres cubes.}$$

Mais les terrains crayeux et boisés qui environnent Elbeuf, et qu'arrosent les ravines, sont essentiellement perméables; en admettant que, dans le cas d'orages importants survenant en temps secs, ces terrains recouverts d'une certaine épaisseur de couche végétale rejettent les 3/7 de l'eau reçue, la quantité d'eau correspondante serait de 380.000 mètres cubes. Il faut tenir compte, en outre, de ce fait qu'une partie des eaux a été emmagasinée dans les mares et dans les excavations des tuileries, briqueteries, etc., qui existent en assez grand nombre, et l'on peut, sans exagération, évaluer à 80.000 mètres cubes le volume des eaux ainsi retenues.

L'eau superficielle à l'état libre qui s'est répandue sur la ville, rue de l'Hospice, correspondait donc à un volume d'environ 300.000 mètres cubes.

M. Tourné, d'autre part, a cherché à déterminer directement la quantité d'eau qui s'est écoulée par l'égout et par la rue de l'Hospice : l'écoulement soit par les égouts, soit par les chaussées, a commencé à huit heures et demie, et le débit a été en augmentant jusqu'à onze heures; à partir de ce moment, l'écoulement maximum a duré jusqu'à une heure du matin, après quoi l'écoulement a diminué jusqu'à quatre heures du matin. L'eau était alors complétement retirée des ravines.

Le débit maximum a pu être calculé d'après les données suivantes :

Rue de l'Hospice : section de l'eau, $3^{mq},50$; périmètre mouillé, $9^{m},85$; pente $0^{m},013$.

Égout : section, $2^{mq},32$; périmètre mouillé, 4 mètres; pente, $0^{m},011$.

Les formules usuelles permettent de déduire les vitesses moyennes sur la route et dans l'égout, qui ont été trouvées recpectivement de 2 et $4^{m},30$; et les débits qui sont de 7 et 10 mètres cubes, soit 17 mètres cubes par seconde et pour les deux heures, durée de l'écoulement maximum, 122.400 mètres cubes.

On n'a pas de données exactes sur la période d'accroissement et de décroissement, mais en admettant, ce qui ne peut être très-éloigné de la vérité, qu'il y ait eu proportionnalité, on trouve :

pour la période d'accroissement de 2 heures et demie. .	76.500^{mc}
et pour celle de décroissement d'une durée de 3 heures. .	91.800
Le total des eaux écoulées est donc dans ces hypothèses de.	290.700

Chiffre qui coïncide très-sensiblement avec l'évaluation faite indirectement de la quantité d'eau qui a dû arriver à Elbeuf, comme l'indiquent les premiers calculs.

Il faut remarquer que les égouts eussent été suffisants pour donner écoulement à cette quantité d'eau exceptionnelle, s'ils avaient pu satisfaire à un débit de 17 mètres cubes; M. l'ingénieur en chef Lechalas, qui communique le rapport de M. Tourné, fait remarquer à quel chiffre exagéré on serait conduit si, ne tenant pas compte des périodes d'accroissement et de décroissement d'une part et de la durée de la période d'état plus grande que celle de l'orage, on calculait la section de l'égout pour donner passage à l'eau pendant la durée de la pluie seulement : le débit dans ce cas devrait être de $\frac{300.000}{2 \times 60 \times 60} = 41^{mc},600$.

De l'influence des forêts de pins sur la quantité de pluie que reçoit une contrée, sur l'état hygrométrique de l'air et sur l'état

du sol. — M. Fautrat a présenté à l'Académie des sciences (28 août 1876) une Note faisant suite à celle qui a été analysée dans les *Annales* (*). Dans ce nouveau travail que nous résumons d'après les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, M. Fautrat a étudié l'influence des forêts de pins, et l'a comparée à celle des forêts de bois feuillus qu'il avait observée précédemment à la forêt d'Hallate. Deux stations d'observations ont été installées dans la forêt domaniale d'Ermenonville, l'une au-dessus d'un perchis de pins silvestres formant un massif s'élevant à 12 mètres du sol, l'autre dans la plaine de sable attenante à la forêt.

Les quantités de pluie tombée, recueillies pendant quatorze mois, ont été de 840^{mm},70 au-dessus du massif boisé et de 757^{mm},75 seulement à 300 mètres de ce massif; la différence de 83 millimètres représente environ 10 p. 100 de la quantité d'eau tombée. Les forêts de pins possèdent donc la propriété de condenser les vapeurs, plus même que les bois feuillus pour lesquels la différence correspondante a été trouvée de 5 p. 100 seulement.

L'étude de l'état hygrométrique conduit à des conclusions identiques. La moyenne de l'état hygrométrique pendant le même temps a été de 0,63 au-dessus des pins et de 0,53 en terrains découverts. Comme les températures observées aux deux stations ne différaient que de 0°,1 ou 0°,2, il en résulte que l'air au-dessus des pins contient plus de vapeur d'eau que dans la plaine : il importe de remarquer que la même différence proportionnelle s'observe pour les diverses moyennes mensuelles.

En plaçant des pluviomètres au-dessous d'un arbre de couvert moyen, on a trouvé que le sol, pendant la même période, n'a reçu que 0^{m},471 de pluie : les arbres ont donc retenu 0^{m},369 d'eau, soit les 0,40 de la quantité d'eau tombée.

L'étude de l'évaporation faite à l'aide de l'atmismomètre Piche a montré que l'évaporation sous bois est environ six fois plus faible que hors bois.

Si l'on ajoute à ces données que le terreau formé par le détritus des pins retient 1,90 de son poids d'eau, tandis que le sable de la plaine n'en retient que 0,25, on est amené à conclure que le sol forestier conserve plus d'eau que le sol découvert, et l'on peut se rendre compte des services que les forêts de pins sont appelées à rendre.

C. M. G.

(*) Voir *Annales*, 1875, 1er sem., p. 212.

N° 51

BIBLIOGRAPHIE.

OUVRAGES FRANÇAIS.

ARMENGAUD. — Formulaire de l'ingénieur-constructeur, carnet usuel des architectes, agents voyers, mécaniciens, directeurs et conducteurs de travaux; par Ch. Armengaud jeune, ingénieur civil. In-12, 268 p. Paris, les principaux lib.; l'auteur, 23, boul. de Strasbourg. 1873.

BARRAL. — Les Irrigations dans le département des Bouches-du-Rhône. Rapport sur le concours ouvert en 1875 pour le meilleur emploi des eaux d'irrigation; par J. A. Barral, secrétaire perpétuel de la Société centrale d'agriculture de France. Ministère de l'agriculture et du commerce. Direction de l'agriculture. In-4°, 552 p. avec fig. et 4 pl. Paris, imp. nationale.

BÉDARRIDE. — Droit commercial. Des chemins de fer au point de vue du transport des voyageurs et des marchandises; par J. Bédarride, avocat près la cour d'appel d'Aix. 2 vol. In-8°, 938 p. Aix, lib. Makaire; Paris, lib. Marescq aîné.

BŒUF. — Levé de plan et nivellement au tachéomètre. Travail rédigé d'après les notes de M. Fogle, ingénieur civil, par M. Bœuf, employé de la compagnie des chemins de fer P.-L.-M. In-8°, 46 p. et 9 pl.; Saint-Maximin, l'auteur.

BONNEFOND. — Le Train d'ambulance de la compagnie française de matériel de chemins de fer; par Charles Bonnefond, ingénieur. In-folio, 34 p. et 11 pl. Paris; au siége de la compagnie, 60, rue de la Victoire.

BRETON. — Étude d'un système général de défense contre les torrents, concertée entre les fonctionnaires des forêts et des ponts et chaussées. Partie de la compétence des ponts et chaussées, présentée par M. Philippe Breton, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé du service spécial des études des torrents des Alpes. In-4°, VIII-233 p. et 10 pl. Paris, imp. nationale.

BRUGUIER-ROURE. — Les Constructeurs de ponts au moyen âge. Ré-

cits légendaires ou historiques, suivis de la description des ponts remarquables bâtis aux XIIe et XIIIe siècles; par M. Bruguier-Roure, membre la Société française d'archéologie. In-8°, 60 p. et 4 pl.; Paris, lib. Dumoulin.

BRUNNER. — Omnibus à vapeur pour tramways à voie étroite, système Brunner; par A. Brunner, ingénieur-contrôleur du matériel des chemins de fer suisses. In-8°, 15 p. et pl. Annecy, imp. Dépollier et Ce.

BUCHAN.—Note sur les nivellements barométriques; par M. Alexandre Buchan, secrétaire de la Société météorologique d'Écosse. Traduit de l'anglais par M. H. Brocard, capitaine du génie. In-8°, 16 p. Alger, imp. Aillaud et Ce.

Extrait des mémoires de la Société royale d'Édimbourg (1868-1869).

CARNET de l'ingénieur, recueil de tables, de formules et de renseignements usuels et pratiques sur les sciences appliquées à l'industrie : chimie, physique, mécanique, machines à vapeur, etc., à l'usage des ingénieurs-constructeurs, des chefs d'usines industrielles, des mécaniciens, etc.; publié par les rédacteurs des Annales du génie civil. Avec la collaboration d'ingénieurs et de savants français et étrangers. 21e édition, 1876. In-18 jésus, VIII-290 p. Paris, lib. Eug. Lacroix.

CHAUVIN. — Étude sur les dynamites; par M. C. Chauvin, lieutenant de vaisseau. In-8°, 36 p. Nancy, lib. Berger-Levrault et Ce; Paris, même maison.

CHEMINS DE FER américains. — Les trackways opposés aux tramways. Application et résultats pour Lille; par F. L. C. de l'arrondissement de Lille. In-8°, 84 p. Lille, imp. Leclercq.

COENE (de). — Les Chemins de fer en Angleterre. Construction et exploitation des gares à marchandises dans les grandes villes; par J. de Coëne, ingénieur. In-4°, 72 p. et 8 pl. Rouen, lithogr. Deshays.

COLLIGNON (Éd). — Traité de mécanique par Édouard Collignon, ingénieur des ponts et chaussées, répétiteur à l'École polytechnique, professeur à l'École des ponts et chaussées. Tome IV, Paris, Hachette et Ce, 1876. Les deux premiers volumes de cet ouvrage, consacrés à la cinématique et à la statique, avaient paru en 1873, et le troisième (partie de la dynamique) en 1874. Le quatrième volume, qui vient de paraître, traite : du mouvement dans les machines, des efforts auxquels les liens de leurs organes sont soumis, des volants, des contre-poids, des freins et des régulateurs; de la mécanique des fluides; des moteurs. Il com-

prend en outre des compléments très-importants et très-développés sur l'attraction, la dynamique analytique et la mécanique vibratoire. Cet ouvrage forme dans son ensemble un traité de mécanique rationnelle complet, qui permet aux élèves de l'enseignement supérieur de s'initier aux plus hautes théories de la science.

COTARD. — L'Utilisation et l'aménagement des eaux. Rapport présenté à la section de génie rural; par M. Ch. Cotard, ingénieur. In-8°, 20 p. Paris, imp. Donnaud.

Extrait du Bulletin des agriculteurs de France.

COULANGHON. — Voie pour tramways, système Léon Marsillon, en exploitation à Lille. Étude comparée avec les divers types de chemins de fer américains, utilisant le rail plat à cuvette posé sur longrines en bois; avec 20 pl. hors texte; par Antony Coulanghon, ingénieur de la compagnie des tramways du Nord. In-4°, 56 p. Lille, lib. Robbe.

DENAMIEL. — Notice sur la construction des bassins de radoub de Marseille; par M. Denamiel, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 19 p. Marseille, imp. Barlatier-Feissat père et fils.

Extrait du Bulletin de la Société scientifique et industrielle de Marseille.

DÉPARTEMENT de la Marne. — Atlas cantonal dressé par le service des ponts et chaussées et des chemins vicinaux sous la direction de M. de la Barre-Duparcq, ingénieur en chef. Canton de Châlons-sur-Marne. — Canton de Sézanne. Paris, imp. lith. Monrocq.

DISCUSSION sur l'emploi de l'air comprimé pour la locomotion mécanique par les procédés L. Mékarski. Société des ingénieurs civils. In-8°, 23 p. et pl. Paris, imp. Viéville et Capiomont.

DUMEZIL. — Jonction de la Garonne à l'Adour et à l'Océan par le bassin d'Arcachon, ou canalisation de Bordeaux aux Pyrénées pour favoriser les transports, les irrigations, les desséchements, les colmatages et la sylviculture, selon les études de C. Deschamps, inspecteur général des ponts et chaussées, et le rapport du sénateur M. Krantz; par A. Dumezil, membre de la compagnie des Dunes, à Talence (bois de Boulogne), près Bordeaux. In-8°, 48 p. Bordeaux, imp. Ragot.

EXPOSITION universelle à Philadelphie en 1876. France. Notices sur les modèles, cartes et dessins relatifs aux travaux des ponts et chaussées et des mines, réunis par les soins du ministère des travaux publics. In-8°, III-430 pages. Paris, imprim. nationale.

FONTBONNE (DE). — Projet d'un canal interocéanique à niveau des

deux océans dans la Darien, avec cartes, plans et devis à l'appui; par G. de Fontbonne, chef militaire d'exploration dans l'isthme du Darien en 1861. In-8°, 30 p. Saint-Satur (Cher), l'auteur. 95 c.

FORTIN-HERMANN. — Recherches et études sur l'adhérence des locomotives sur routes ordinaires; par A. Fortin-Hermann et coopérateurs. Machine marcheuse. Application de la vapeur sur les jambes. In-f°, 21 pages. Paris, autog. Desnos. (19 février.)

FRANCQ.—La Locomotive sans foyer. Étude comparative des divers systèmes de locomotive proposés pour la traction des chemins de fer vicinaux et des tramways; par M. Léon Francq, ingénieur civil. In-8°, 101 p. et 1 pl. Paris, lib. Dunod.

FRÉCOT. — Notice nécrologique sur M. P. de Mardigny, ingénieur en chef des ponts et chaussées, membre de l'Académie de Metz; par M. H. Frécot, ingénieur en chef des ponts et chaussées, membre de l'Académie de Metz. In-8°, 35 p. Nancy, imp. Réau.

GÉRARDIN. — Traitement des eaux industrielles, mouvement brownien. Traitement des eaux d'égout; par A. Gérardin. In-4°, 32 p.; lib. Lecuir et Ce.

GODEAUX. — Amélioration de la Seine entre Paris et Rouen. Mouillage de 3m,20. Note; par Eug. Godeaux, concessionnaire-fondateur du touage de Paris à la mer. In-8°, 32 p. Paris, imp. A. Chaix et Ce.

GUILLAUME. — Traité pratique de la voirie urbaine; par Eug. Guillaume, chef de bureau de la voirie urbaine et vicinale au ministère de l'intérieur. In-8°, 435 p. Paris, lib. P. Dupont.

HIRN. — Théorie mécanique de la chaleur. 1re partie. Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur; par G. A. Hirn. 3e *édition*, entièrement refondue. T. II. In-8°, XII-435 p. avec figures dans le texte. Paris, lib. Gauthier-Villars.

JOYANT et DUMONT. — Étude pratique sur l'établissement et l'exploitation des chemins de fer à voie étroite de Lausanne à Échallens (Suisse) et de Turin à Rivoli (Italie); par M. Joyant, ingénieur à la compagnie de l'Est, et M. Georges Dumont, sous-inspecteur à la compagnie de l'Est. In-8°, 31 p. et 2 pl. Paris, lib. Aug. Lemoine.

Extrait des Mémoires de la Société des ingénieurs civils.

JUCQUEAU. — Notice sur un mode de construction des voies ferrées avec traverses en fer laminé; par L. Jucqueau, inspecteur de la voie au chemin de fer d'Orléans. In-f°, 12 p. Poitiers, imp. Wirquin.

Kentergein (Van). — De la préparation des traverses de chemins de fer par l'injection des liquides antiseptiques; par J. J. Van Kentergein, membre de l'Institut royal des ingénieurs hollandais. Traduit pour les Annales du génie civil par M. Adam. In-8°, 34 p. Paris, lib. E. Lacroix.

Publications scientifiques, industrielles et agricoles d'E. Lacroix. — Extrait des Annales du génie civil.

Lenthéric. — Les Villes mortes du golfe de Lyon. Illiberris. Ruscino. Narbon. Agde. Maguelone. Aiguesmortes. Arles. Les Saintes-Maries; par Charles Lenthéric, ingénieur des ponts et chaussées. 2e *édition*, renfermant 15 cartes et plans. In-18 jésus, 528 pages. Paris, lib. Plon et Ce.

Mancel. — Le Port de la Somme, d'après M. l'ingénieur Geoffroy; par A. Mancel. In-8°, 22 p.; lib. Marquis.

Mathelin. — Étude sur les différents systèmes des compteurs d'eau; par M. Mathelin. In-8°, 20 p. et 9 planches. Lille, imp. Danel.

Moreau. — Étude sur les travaux publics de la ville de Roubaix; par Émile Moreau, ex-directeur des travaux municipaux. 1re partie. Question des eaux. In-8°, 135 p.; Roubaix, les principaux libraires; l'auteur, 10, rue Trichon.

Potier. — Tables cyclographiques pour le tracé des courbes de raccordement des voies de communication, précédées des instructions nécessaires sur la manière de les calculer et d'en faire usage, et suivies de méthodes simples : 1° pour mener des tangentes et des normales, par des points quelconques, à des arcs de cercle tracés sur le terrain, 2° pour déterminer les courbes de raccordement des pentes et rampes; 3° pour raccorder des alignements dont l'intersection est inaccessible; par Edmond Potier, conducteur des travaux aux chemins de fer de l'Est. *Nouveau tirage*. In-8°, 244 p. Paris, lib. Borrani.

Randich. — Les Chemins de fer secondaires en Russie; par Joseph Randich. In-8°, 136 p., 1 carte et 3 pl. Paris, lib. Dumoulin.

Resal. — Traité de mécanique générale, comprenant les leçons professées à l'École polytechnique; par H. Resal, ingénieur des mines. T. IV. Des moteurs. De l'eau et du vent comme moteurs, etc. In-8°, XII-449 p. Paris, lib. Gauthier-Villars.

Reynaud. — Les Travaux publics de la France. Routes et ponts, chemins de fer, rivières et canaux, ports de mer, phares et balises, par MM. les ingénieurs des ponts et chaussées, Félix Lucas, Éd. Collignon, H. de Lagrené, Voisin-Bey, E. Allard. Ouvrage publié sous les auspices du ministère des travaux publics et sous la direction de M. Léonce Reynaud, inspecteur général

des ponts et chaussées, contenant 250 planches, de nombreuses gravures dans le texte et 5 cartes en chromo-lithographie. Livraison-spécimen. In-folio, 11 p. et 5 pl. Paris, lib. J. Rothschild. 5 fr.

Cet ouvrage se composera de 5 volumes in-folio. Chaque partie, formant un volume complet, est publié en 10 livraisons comprenant chacune 5 planches et plusieurs feuilles de texte avec nombreuses gravures. Le prix de la livraison est de 12 fr. Les cinq volumes seront entièrement terminés en 1877.

ROUSSELET. — Voiture automobile à air comprimé pour tramways (système L. Mékarski). Notice par M. P. Rousselet, conducteur des ponts et chaussées. In-8°, 3 p. et pl. Paris, lib. E. Lacroix.

Extrait du Bulletin de la Société des conducteurs des ponts et chaussées et des gardes-mines.

ROUSSEAU. — Étude générale sur le régime des cours d'eau du département de l'Aude; par Th. Rousseau, officier forestier. In-8°, 86 p. et 1 carte. Toulouse, imp. Sirven.

SAINTE-MARIE (DE). — La Mission du capitaine Roudaire en Tunisie et la mer intérieure; par E. de Sainte-Marie. In-8°, 14 p.; Paris, bureaux de l'Explorateur.

Extrait du journal l'Explorateur, n° 59, 23 mars 1876.

SALIN. — Manuel pratique des poseurs de voies de chemins de fer; par Henri Salin, chef de section au chemin de fer d'Orléans. In-18 jésus, XII-203 p. et pl. Paris; lib. Dunod.

SARTIAUX. — Les Chemins de fer au point de vue civil et militaire. Conférences faites à la Société d'instruction générale de Senlis; par M. Sartiaux, ingénieur des ponts et chaussées. In-8°, 48 p. Senlis, imp. Payen.

SEBERT.—Notice sur l'intégromètre Marcel Deprez et le planimètre Amsler; par H. Sebert, chef d'escadron d'artillerie de la marine. Avec pl. et fig. In-8°, 136 p. Paris; lib. Tanera.

SEMAINE (LA) des constructeurs, journal illustré des travaux publics et privés, sous la direction générale de M. César Daly, architecte. 1re année. Nos 1 et 2. 15 et 22 juill. 1876. In-4° à 2 col., 24 p. Paris; lib. Ducher et Ce. Abonnement : Paris, un an, 19 fr.; six mois, 10 fr.; départements, 22 fr.; 12 fr., étranger, le port en sus. Un numéro 50 c.

Paraît tous les samedis.

TOURNAIRE. — Régime des eaux à Marseille. L'Huveaune et le canal; par M. H. Tournaire, membre de la Société de statistique. In-8°, 20 p. Marseille, imp. Cayer et Ce.

OUVRAGES ANGLAIS.

ANDERSON (K. C.).— Tables for facilitating the Calculation of every Detail in Earthen and Masonry Dams. Roy. 8vo. *Henry S. King.*

Tables pour faciliter le calcul des détails des barrages en terre et en maçonnerie.

BRESSE. — Water Wheels, or Hydraulic Motors. Translated from the " Cours de mécanique appliquée." By F. A. Mahan. Revised by D. H. Mahan. New ed., with the French Measures translated into English. Illust. 8vo, pp. 195. *New-York.*

Roues hydrauliques ou moteurs hydrauliques, Traduit du « Cours de mécanique appliquée de M. Bresse » par F. A. Mahan; revu par D. H. Mahan. Nouvelle édition, avec les mesures françaises converties en mesures anglaises.

GILMORE (Q. A.). — A Practical Treatise on Roads, Streets, and Pavements. Post 8vo, pp. 260. *Spons.*

Traité pratique des routes, des rues et du pavage.

HUMBER (W.). — Comprehensive Treatise on the Water Supply of Cities and Large Towns. 4to, hf.-bd. *Lockwood.*

Traité complet des distributions d'eau dans les grandes villes.

PARLIAMENTARY PAPERS. P. S. King. *London.*

HARWICH Harbour Account. Report. 2d.
Le port d'Harwich.

CLYDE. — Hawkshaw's Report on Purification of the.
Purification de la Clyde.

HIGHWAYS Act, England and Wales. Return. 3d.
Routes de l'Angleterre et du pays de Galles.

PIERS and Harbours Provisional Orders. Board of Trade Report. 1d.
Jetées et ports.

LIGHTHOUSES, etc. — Local Inspection. Reports. 1d.
Phares.

RAILWAYS. — 2nd Report of Commissioners. 1d.
Chemins de fer. 2e Rapport des commissaires.

— Abbott's Ripton Accident. 2s. 5d.
— Accident de Abbott's Ripton.

RAILWAYS ACCIDENTS. — Return of accidents. October to December 1875; January to March 1876. — Inspectors' Reports Aug. Dec. 1875. Jan. and Feb. 1876.

Accidents de chemins de fer. Comptes rendus, octobre 1875 à mars 1876. Rapports des inspecteurs, août 1875 à février 1876.

THAMES Valley Drainage. Col. Cox's Report. 2d.
Drainage de la vallée de la Tamise.

TOLL Bridges, River Thames. Report and Evidence. 1s. 1d.
Ponts à péage sur la Tamise.

PROCEEDINGS of the Association of Municipal and Sanitary Engineers and Surveyors. Edited by L. Angell. Vol. II. Post 8vo. *Spons.*

Comptes rendus de l'association des ingénieurs et des inspecteurs municipaux.

SYMONS (G. J.). — British Rainfall, 1875. On the Distribution of Rain over the British Isles during the Year 1875, as observed at about 1.800 Stations in Great Britain and Ireland. With Maps and Illustrations. 8vo, pp. 214. *Stanford.*

Les pluies de la Grande Bretagne et de l'Irlande en 1875.

WOOD (De Volson). — Treatise on the Theory of the Construction of Bridges and Roofs. Illust. with numerous wood engravings. 2nd ed., revised and corrected. 8vo, pp. x-249. *New-York.*

Théorie de la construction des ponts et des combles.

OUVRAGES ALLEMANDS.

BECKER. Mx. Handbuch der Ingenieur-Wissenschaft (Supplement Bd.) V. Bd. 1. Abth. Ausgeführte Constructionen des Ingenieurs. 1. Abth. Mit atlas, enthaltend 45 gravirte lith. Taf., worunter 5 Taf. in. Farbendr. Stuttgart, 1876. Mäcken. 8°. XVI-216 pp.

L'art de l'ingénieur. — Supplément.

V. DAMBROWSKI EM. — Theorie und Anleitung zur practischen Ausführung der rationnellen Inhalts-Berechnung bei den Erdbauten, besonders der Eisenbahnen. Mit 11 lith. Taf. Leipzig, 1876. Teubner, 8° 115 pp.

Théorie et pratique des calculs de mouvement des terres, particulièrement pour les chemins de fer.

HELLWAG, W. — Die Banachse und das Langenprofil der Gotthard-

bahn, nebst approximativen Kostenvoranschlag und die Ursachen der Ueberschreitung des Kostenvoranschlags der Tessinischen Bahnen. Bericht an die Direction. Zürich, 1876 Orell, Füssli et Cᵒ. Fol. VIII, III, 94, XXXV, 142. XXXI, 40 pp. Mit 6 Steintaf.

La ligne du Saint-Gothard et son profil en long, devis approximatif, etc.

Heyne, W. — Der Erdbau in seiner Anwendung auf Eisenbahnen und Strassen. Mit ungefähr 160 Orig.-Holzschn. Wien, 1876, Hölder. 8°.

Le souterrain dans son application aux chemins de fer et aux rues.

(Paraît par fascicules.)

Holzhey, E. — Vorträge über Baumechanik. 3. — 5. Lfg. Wien, 1874-76. Gerold's Sohn 8°. Mit. Taf.

Essai sur la mécanique de la construction.

(Paraît par fascicules.)

Jeep, W. — Die Werwendung des Eisens beim Hochbau. Mit über 800 eingedr. Holzschn. und 14 lith. Taf. (In 6 Lfgn) 1. Lfg. Leipzig, 1876. Teubner. 8°. 112 pp.

L'emploi du fer dans la construction.

(Paraît par fascicules.)

Klasen, L. — Handbuch der Hochbau-Construction in Eisen und anderen Metallen Für Architekten, Ingenieure, Constructeure, Bau-Handwerker und technische Lehranstalten. 2. Lfg. Mit 345 Holzschn. u. 10 lith. Taf. Leipzig, 1875. Engelmann. 4°.

Traité de l'emploi du fer et des autres métaux dans la construction.

Liernur, C. T. — Ueber die Canalisation von Städten auf getrenntem Wege mit dem Schwemmsystem. Vortrag gehalten vor den Regierungs-, Communal-, Medicinal- und technischen Behörden der Stadt Bern den 11. Januar 1876. Zürich, 1876. Meyer et Zeller. 8°. 138 pp.

Sur la canalisation des villes.

Petzholdt, Alph. — Studien über Transportmittel auf Schienenwegen und Transportbetrieb. Ein Supplement-Band zur Locomotive der Gegenwart. Mit zahlreichen in den Text eingedr. Holzst. und 6 angehängten Tabellen. Braunschweig, 1876. Vieweg et Sohn. 8°. XXIV, 481 pp.

Études sur les moyens de transport par voies ferrées.

v. Ritgen, Hg. — Neues System für Sekundär-Bahnen von norma-

ler Spur. Mit 3 Kpfrn. u. Holzschn. Berlin, 1876. Ernst et Korn. 8°. IV, 75 pp.

Nouveau système pour les chemins de fer secondaires à voie normale.

Rohr, F. W. — Handbuch des practischen Eisenbahndienstes. Eine Darstellung des Betriebes und der Verwaltung der Eisenbahnen in Deutschland, unter Berücksichtigung der Reichsgesetzgebung. 1. u. 2. Lfg. Stuttgart, 1876. Maier. 8°. p. 1-128.

Manuel pratique de l'employé de chemins de fer. (Paraît par fascicules.)

Salbach, B. — Das Wasserwerk der Stadt Dresden, erbaut in den Jahren 1871 bis 1874. 11 Thl. Halle, 1875-76. Knapp. Fol. 16 pp. Mit. 29 Steintaf.

La distribution d'eau de la ville de Dresde.

Schaltenbrand, C. — Die Locomotiven. Eine Sammlung ausgeführter Zeichnungen mit beschreibendem Text zur Benutzung im Constructions-Saal und in technischen Lehranstalten nach zuverlässigen Quellen bearbeitet. Berlin, 1876. Gärtner. 8°. Mit eingedr. Holzschn. u. 10 Steintaf.

Les locomotives, collection de planches avec texte. (Paraît par fascicules.)

OUVRAGES ITALIENS.

Basile (prof. G. B. F.).—Calcolo di stabilità della cupola del teatro massimo di Palermo. Palermo, in-4, pag. 20 con 8 tav.

Calcul de stabilité d'une coupole.

Bollettino del Collegio degli Ingegneri, Architetti e Periti dell' Umbria. s. d. (Perugia 1875). in-16. anno I.

Bulletin de la Société des ingénieurs, etc., de l'Ombrie. Publication périodique nouvelle.

Cenni sulle opere di difesa alla ferrovia dell' Apennino lungo il Reno fra Porretta e Pracchia. Firenze, in-4. pag. 16.

Estratto dal Giornale degli Ingegneri di Milano.

Les ouvrages de défense du chemin de fer de l'Apennin.

Chiesa (Celestino). — La locomozione sulle forti pendenze : Dissertazione presentata alla Commissione esaminatrice della R. Scuola d'Applicazione per gl' ingegneri in Torino (settembre 1875). Torino, 1875. In-8. pag. 44.

La locomotion sur les fortes rampes.

CORNAGLIOTTO (Giuseppe). — Freni per veicoli ferroviarii; dissertazione. Torino, in-8 gr., pag. 41. con 1 tavola.
Frein pour les voitures des chemins de fer.

CROTTI (Francesco). — Sulla sopraelevazione del railo esterno nelle curve ferroviarie. Lettera all' ingegnere L. Loria. Milano, Fratelli Treves, 1875. In-16. pag. 32. — Lire 1.
Sur la surélévation du rail extérieur dans les courbes.

FAVARO (Antonio). — Lezioni di statica grafica. Padova, tip. edit. F. Sacchetto. In-8. — L. 1.
Leçon de statique graphique.
(Parait par fascicules.)

GABELLI (Federico). — Il riscatto delle ferrovie. Padova, tip. edit. F. Sacchetto. In-8, pag. 160. — L. 2.
Le rachat des chemins de fer.

MINISTERO dei lavori pubblici. Lo Stato e le ferrovie. Roma, in-8. pag. 160. — L. 1 50.
Ministère des travaux publics. L'État et les chemins de fer.

MINISTERO dei lavori pubblici. Sul riscatto ed esercizio delle ferrovie italiane. Roma, tip. Bencini. In-8. pagine 60. — L. 1.
Du rachat des chemins de fer italiens.

MIROTTI (Leopoldo). — Ferrovie a cavalli. Memoria sulla convenienza dell' impianto delle ferrovie a cavalli nell' interno e nei contorni delle città, e sul sistema migliore da adottarsi. Firenze, in-8. pag. 16 e 4 tav.
Dagli Atti del II Congr. degli Archit. ed ingegn. ital.
Chemins de fer à traction de cheval (2e Congrès des Architectes et ingénieurs italiens).

MORO (Giov.). — Della sistemazione del Tevere dal tempio di Vesta al mare, del bonificamento dei terreni del Delta Tiberino, e della costruzione di un porto marittimo presso le mura di Roma: progetto. Considerazioni generali. Roma, in-4, pag. 40 e una tav. — L. 3.
Rectification du Tibre, assainissement de son delta, construction d'un port maritime à Rome : Projet.

NAVONE (ing. Carlo). — Altimetria delle valli appennine liguri, rilevata con livellazione barometrica. Saggio di studio. Genova, tip. e lit. edit. ved. Armanino figli e Casabona, 1875. In-4, pag. 4. — L. 2 50.
Nivellement des vallées des Apennins.

NAZARI (cav. Ildebrando). — Idraulica matematica e pratica. Trattato d'idrostatica ed idrodinamica. Palermo, edit. Luigi Pedone Lauriel, 1875. In-8.

Hydraulique, mathématique et pratique. (Paraît par fascicules.)

NONNIS-MARZANO (Francesco). — Trattato di costruzione, dettato secondo le norme del programma governativo per gli istituti tecnici, con un'Appendice contenente la relazione, i tipi, il computo metrico, l'analisi dei prezzi, la stima e il capitolato d'appalto d'una casa civile. Firenze, tip. Civelli. In-8.

Traité de construction.

PARROCCHETTI. — Manuale pratico di idrometria. Milano, Galli e Omodei edit. In-8, pag. 448.

Nuova Biblioteca dell'ingegnere architetto civile, volume XXIV.
Manuel pratique d'hydrométrie.

PAVESI (Angelo). — Studii chimico-idrologici sulle acque potabili della città di Milano: Memoria premiata dal R. Istituto Lombardo. Milano, Hoepli lib. edit. In-4 grande, pag. 28 con 4 tav. litogr. — L. 3 50.

Étude chimique et hydrologique des eaux de Milan.

POLITZER (Maurizio). — Stime dei trasporti di terra, ghiaje e sassi, cavate dal vademecum tedesco « Il pratico ingegnere e architetto » per cura di G. Bertolini. Cagliari, In-8, pag. 24.

Prix de transport de la terre, des graviers et des pierres.

RICHELMY (Prospero). — Intorno alle turbine a distribuzione parziale : studi teorici e sperimentali. Torino, tipografia G. B. Paravia, 1875. In-8. pag. 96.

Turbine à distribution partielle.

ROLLA (ing. Luigi).—Elementi di statica grafica per l'insegnamento negli istituti tecnici e per lo studio privato dei pratici. Milano, U. Hoepli lib. edit. In-8 gr. pag. 36. — L. 2 50.

Éléments de statique graphique.

SABBIONE (Luigi).— Nozioni di tacheometria, con tavole numeriche per il calcolo del distanze orizzontali e delle differenze di livello in due serie. Divisione sessagesimale e divisione centesimale del circolo. Tavole numer. 1.ª serie, ecc. Torino, 1875. In-8 gr. pag. 31.

Notions de tachéométrie. Calcul des distances horizontales et des différences de niveau.

SACHERI (ingegn. Giovanni). — Statica grafica. Regole pratiche generali per uso dell' ingegnere costruttore. Torino, in-8. pag. 74. — L. 1 50.

Statique graphique. Règles pratiques générales.

SAULLICH (Angelo). — Istruzione pratica sull' uso del cemento Portland. Forlì, in-8, pag. 16.

Instructions pratiques sur l'usage du ciment de Portland.

SINISCALCHI (Vincenzo). — Istituzioni teorico-pratiche di topografia ed agrimensura, ad uso degli ingegneri civili e militari; con Appendice contenente i precetti speciali per i rilievi tacheometrici, e le teorie dell' ottica necessarie a ben comprendere alcune parti degli strumenti a cannocchiale ed a riflessione. Parte I et II. Napoli, in-4 grande. pag. 392 e 23 tav.—L. 27.

Notions théoriques et pratiques de topographie et d'arpentage.

SPAVENTA (Silvio). — Lo Stato e le Ferrovie : Riscatto ed Esercizio. Note presentate al Parlamento italiano dal l'ex-ministro dei lavori pubblici. Col testo ufficiale delle Convenzioni ferroviarie. Milano, fratelli Treves edit.-lib. In-16, pag. VIII-288. — L. 3.

L'État et les chemins de fer.

OUVRAGES RUSSES.

TSCHUPROW. A. — L'administration économique des chemins de fer. Moscou, 1875.

WOSKO. P. — Dictionnaire des termes techniques en allemand, français et russe. Warschau, 1875. 8°. 4458 pp.

N° 52

LES GARES DE TRIAGE

POUR

LE CLASSEMENT DES WAGONS DE MARCHANDISES

Par M. JULES MICHEL, ingénieur des ponts et chaussées.

L'extension des divers réseaux de chemins de fer et la multiplication des embranchements ont introduit dans le service de l'exploitation des chemins de fer des exigences nouvelles, et ont nécessité des installations d'une nature toute spéciale qu'on désigne sous le nom de *gares de triage.*

Le triage est une opération qui a pour but de composer les trains de marchandises avec des wagons choisis suivant leurs destinations, ou de classer les wagons dans chaque train suivant l'ordre géographique des stations que le train est appelé à desservir.

Cette opération, qui n'intéresse nullement le public, et dont il ne se doute même pas, est une des plus graves préoccupations des grandes administrations de chemins de fer ; de sa bonne ou mauvaise exécution dépendent la régularité dans la marche du service des marchandises et surtout la rapidité dans les arrivages à destination. Elle entraîne, soit comme construction, soit comme manutentions journalières, des dépenses considérables, dépenses qui n'étaient pas prévues lors de la création des chemins de fer.

Lorsque les réseaux étaient peu étendus, chaque gare de marchandises un peu importante était pourvue de quelques voies spéciales où les wagons étaient classés suivant

Après avoir exposé les divers procédés auxquels on peut avoir recours pour le classement des wagons, nous donnerons les résultats observés en Allemagne dans le fonctionnement des gares de triage et ceux de plusieurs gares du chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Supposons qu'un train arrive dans une gare de triage avec des wagons distribués sans aucun ordre prémédité; le mode qui se présente le premier à la pensée pour classer ces wagons est de les prendre les uns après les autres avec une machine pour les reporter par des manœuvres de va-et-vient sur plusieurs voies affectées chacune à une destination spéciale. Ces voies doivent communiquer toutes, de même que la voie où est entreposé le train à classer, avec la voie principale, à l'aide de laquelle on décompose le train. Si la circulation trop active sur la voie principale rend ces manœuvres gênantes ou dangereuses, on a recours à une voie spéciale, sur laquelle la machine tire successivement les wagons à classer. On l'appelle pour

---

« lot pour la ligne du Bourbonnais, la gare de Portes étant obligée « de remanier complétement ce lot pour en extraire les wagons « en destination définitive de Givors. Ces remaniements successifs sont fort onéreux et entraînent des retards dans le transport « des marchandises.

« En conséquence, les lots doivent autant que possible être définitifs, c'est-à-dire composés de telle sorte qu'ils ne soient remaniés que par la gare de triage qui précède immédiatement « les gares destinataires des wagons qui constituent chaque lot.

« Ces principes généraux posés, il y a lieu d'indiquer l'ensemble « des opérations que doivent effectuer, pour les trains directs, « les gares de formation et de triage du réseau.

« Toute gare desservie par les trains directs de marchandises « doit avoir le plus grand soin de respecter les lots faits par les « gares de formation et de triage la précédant dans le sens de la « marche des trains, et, par suite, d'ajouter à ces lots les wagons « pour les mêmes destinations qu'elle a chargés elle-même ou qui « lui sont parvenus, soit par les trains omnibus, soit par ceux des « embranchements. »

cette raison *voie de tiroir*, et l'on donne aux voies plus ou moins nombreuses qui partent du tronc commun le nom de *faisceau de triage* (*).

Les lots formés suivant diverses destinations fixées d'avance sont ensuite réunis pour former un train complet, autant que possible; ce groupement nécessite encore l'emploi d'une machine et l'utilisation de la voie de tiroir. Telle est la première phase par laquelle a passé l'organisation des gares de triage.

Plus tard, pour activer l'opération du classement, on a imaginé d'attaquer le train à décomposer par le milieu, en décrochant les wagons et en les conduisant sur leurs voies de destination, au moyen de plaques tournantes, pendant que la machine, de son côté, manœuvrait les wagons placés en tête du train.

On est arrivé de la sorte à doubler et à tripler même le travail fait en une journée sur un même faisceau de triage; car l'expérience montre qu'on peut trier avec des chevaux sur une batterie de plaques tournantes un nombre de wagons à peu près égal à celui que la machine classe pendant le même temps. Il suffit donc d'établir deux batteries de plaques convenablement espacées pour obtenir trois fois plus de travail qu'avec les machines seules.

Cette disposition, qui combine les manœuvres à la machine avec les manœuvres au moyen de chevaux, est généralement appliquée en France et en Angleterre, où elle a rendu de grands services. Elle est, au contraire, à peu près inconnue en Allemagne, où l'emploi des plaques tournantes est peu répandu.

Toutefois, l'établissement des batteries composées d'un

(*) C'est à M. Maniel, alors ingénieur en chef du chemin de fer du Nord, qu'est due la disposition des faisceaux de voies desservies par une voie spéciale ou voie de tiroir.

grand nombre de plaques tournantes est coûteux, et, de plus, il y a avantage, toutes les fois qu'on le peut, à remplacer les chevaux par des moteurs inanimés. Ces raisons ont amené les ingénieurs anglais à substituer aux plaques tournantes des chariots à vapeur circulant sur une voie transversale au niveau des voies de la gare de triage. Ils ont, en même temps, remplacé par une machine à vapeur ou un moteur hydraulique les chevaux, qui seraient insuffisants pour faire monter les wagons chargés sur le plan incliné raccordant les voies avec la plate-forme du chariot. Avec ce système, la manutention est aussi rapide et plus économique qu'avec les plaques.

Les chariots à vapeur sont également utilisés en Allemagne dans certaines gares de transbordement, mais ils ne paraissent pas avoir été introduits, jusqu'à présent, dans les gares de triage proprement dites.

En France, il n'y a encore aucune application des chariots à vapeur, mais plusieurs compagnies se préoccupent d'en installer dans leurs gares de triage pour remplacer les batteries de plaques, comme on le fait en Angleterre.

Telles sont les dispositions qui peuvent être employées, isolément ou combinées ensemble, pour trier les wagons à l'aide de moteurs animés ou inanimés sur des voies à peu près horizontales.

Mais, dans certaines localités, les voies de triage ont dû être disposées le long de portions de lignes qui se trouvaient en pente. Les wagons abandonnés à eux-mêmes sur une pente supérieure à 0,006 sont entraînés par la pesanteur ; on a pensé alors tout naturellement à utiliser cette force pour faire le classement des wagons. De là est sorti un autre système de gare de triage ; imposé d'abord par les conditions de pente des voies principales, il a présenté de tels avantages qu'on en est venu à le projeter de toutes pièces, c'est-à-dire à organiser des gares de triage

combinées indépendamment de la disposition des voies principales, de façon que le tiroir soit en pente de 0,008 à 0,010. On a soin, en outre, d'établir l'origine du faisceau de triage en pente de 0,003 à 0,005 pour que les wagons entraînés par la gravité puissent aller aussi loin qu'il est nécessaire pour la formation des lots. L'extrémité des voies peut être en palier.

Dans ce système, il n'y a plus besoin de plaques tournantes ni de chariots. Les voies sont généralement plus courtes que dans le système des gares horizontales. L'expérience, en France et en Allemagne, démontre que le service sur les gares de triage avec voies en pente est notablement plus rapide et plus économique qu'avec les voies horizontales. On doit donc leur donner la préférence toutes les fois que cela est possible.

Depuis longtemps les chefs d'exploitation des diverses compagnies ont résolu le problème du triage des trains, d'une manière plus ou moins satisfaisante, à l'aide des ressources locales qu'ils avaient à leur disposition. Chacun faisait du mieux qu'il pouvait, mais le fonctionnement des divers modes de triage n'avait pas été comparé d'une manière systématique, de façon à définir celui qui donne les meilleurs résultats au point de vue de l'économie dans les dépenses et de la rapidité dans les manœuvres.

C'est ce travail que nous avons essayé de faire pour des gares de triage du réseau de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Il nous a semblé opportun de faire connaître comment la question a été résolue dans notre pays, aujourd'hui qu'on se trouve en présence de divers systèmes dont on peut apprécier les avantages et les inconvénients. En Allemagne, on s'est également préoccupé de systématiser l'opération du triage, et de déterminer la meilleure disposition à donner aux gares. En 1873, une commission a été chargée de parcourir les différentes gares des che-

mins de fer de l'Allemagne pour étudier la question ; elle a fait un long et intéressant rapport dont nous allons donner un extrait.

Les chiffres tirés de ce rapport serviront ensuite à établir des comparaisons utiles entre les résultats obtenus dans les gares du chemin de Paris à Lyon et à la Méditerranée et ceux des gares allemandes.

Il n'est pas sans intérêt que les ingénieurs français soient renseignés sur ce que font les Allemands comme exploitation des chemins de fer. Les voies ferrées et leurs installations complémentaires ont reçu chez nos voisins depuis quelques années des développements très-considérables. Nous pouvons citer, par exemple, au point de vue des opérations de triage, la gare de Zwickau dont il sera parlé plus loin. Cette gare, une des mieux installées pour le triage des wagons, comprend trois faisceaux de triage distincts. Chaque faisceau est composé de 11 à 17 voies, et la longueur totale de ces voies n'est pas inférieure à 18 kilomètres. On y peut trier, dit-on, jusqu'à 12.000 wagons par jour. (Voir *fig.* 1, Pl. 24.)

Aucune des gares de triage du réseau de la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée ne présente un développement aussi considérable, aucune ne se prête à un pareil mouvement de wagons. Mais pour apprécier la valeur du système adopté par les Allemands dans l'établissement de cette gare de triage, pour se rendre bien compte des résultats auxquels ils arrivent, sous le rapport technique et économique, il faudrait avoir des renseignements qui nous manquent sur le trafic de cette gare, sur l'origine et la destination des wagons de marchandises à y classer, enfin sur la charge des trains et sur le nombre des wagons qui les composent.

Cette étude intéressante devrait être faite sur place par un ingénieur désireux de comparer ces résultats à ceux qui sont fournis par les chemins de fer français.

En attendant qu'elle soit entreprise, nous croyons utile de faire connaître les renseignements que nous avons été à même de recueillir sur diverses gares de triage en France et en Allemagne.

Extrait du Rapport de la Commission des chemins de fer du Nord de l'Allemagne sur les diverses méthodes de triage des wagons.

I. — LES TRIAGES AVEC VOIES DE TIROIR EN PENTE.

La méthode de triage sur des voies de tiroir en pente a pour but d'utiliser la pesanteur qui entraîne les wagons, abandonnés à eux-mêmes, sur les diverses voies de stationnement, où ils sont arrêtés au moyen de freins. Cette méthode a été employée tout naturellement d'abord au voisinage des voies en pente ; elle présente une telle facilité de travail qu'elle s'est rapidement généralisée.

Ses avantages consistent à exiger *peu de force*, *peu d'espace et peu de temps* dans l'opération du triage; aussi aucune des gares où cette méthode a été appliquée ne l'a abandonnée (*).

On l'applique à Dresde depuis 28 ans, à Leipzig depuis 16 ans, à Zwickau depuis 13 ans.

D'après des observations faites avec soin dans plusieurs gares, 711 essieux ont été répartis en 184 fractions en 1 heure 30 minutes 25 secondes (**). Chaque opération n'a donc exigé que 36 secondes, et la descente d'un essieu depuis l'origine du triage jusqu'à la voie de répartition

---

(*) Une communication à ce sujet se trouve dans l'*Organ für die Forschritte des eisen Bahnwesens*, année 1871, page 60.

(**) Un wagon compte généralement pour deux essieux.

seulement 9',3. C'est un brillant témoignage en faveur de cette méthode.

Voici, du reste, la description d'un certain nombre de gares visitées par la commission, avec l'indication des résultats obtenus dans le triage par la gravité.

1° *Gare de Halle.* — La pente de 0m,0033 d'abord, puis de 0m,001, sur 452 mètres, est trop faible. La pente se maintient dans les voies de triage aussi longtemps qu'elles sont en courbe. C'est une bonne précaution; seulement cette dernière pente devrait être plus forte; elle devrait être de 0m,003 sur une longueur de 200 mètres, et la pente de la voie de tiroir devrait être augmentée. Le mouvement des wagons ne peut se faire sans une impulsion des machines de manœuvre, et, par le mauvais temps, la gare fonctionne comme une gare horizontale. On projette de la remanier en entier.

2° *Gare de Leipzig* (*chemin de Leipzig à Magdebourg*). — La pente du tiroir est encore ici trop faible (0m,004) et le triage ne se fait pas sans coups de machine. Cet inconvénient est un peu compensé parce que la pente se prolonge jusqu'au bout des voies de triage.

Ces deux gares peuvent trier de 4.000 à 4.200 essieux par jour, ce qu'on ne peut jamais obtenir avec les voies horizontales.

3° *Gare de Leipzig* (*chemin de Leipzig à Dresde*). — Mêmes dispositions que la précédente. Pente, 0m,005 dans le tiroir comme dans les voies de triage. Mieux vaudrait forcer la pente du tiroir et diminuer celle des voies de triage.

La pente continue rend difficile et dangereux l'arrêt des wagons dépourvus de freins.

4° *Gare de Leipzig* (*chemin de l'État*). — La pente est de 0m,004 dans le tiroir. Le triage par beau temps se fait bien: des chevaux sont attelés aux wagons encore en mouvement sur la voie de triage et les lancent de manière à les

accrocher immédiatement. On pourrait éviter ce travail pénible par une augmentation de la pente du tiroir.

Cependant il n'arrive pas d'accidents aux chevaux, dont il serait néanmoins désirable d'éviter l'emploi.

5° *Gare de Dresde-Neustadt.* — La voie principale est en pente de $0^m,018$. On a construit à côté un tiroir en pente de $0^m,005$, mais on s'en sert rarement, parce que les wagons ont à passer ensuite sur des courbes de 130 à 140 mètres. Une opération seule dure 92 secondes sur ce tiroir, tandis que sur la voie principale il ne faut que 27 à 28 secondes; aussi les employés préposés aux manœuvres préfèrent se servir de celle-ci. La rapidité des opérations fait qu'il n'en résulte pas d'inconvénients pour la sécurité de la circulation.

Sur une voie en pente, un train de 60 essieux peut être trié en 10 minutes, tandis qu'il lui faut 1 à 2 heures sur un tiroir horizontal.

Aussi la voie principale, qui reçoit 65 à 70 trains par jour, suffit cependant comme voie de tiroir, et sans accident, depuis 28 ans. C'est la meilleure preuve de la supériorité des voies de triage en pente.

6° *Gare de Dresde* (*Altstadt*). — La disposition de cette gare est très-bonne; elle donne un rendement utile remarquable. La pente du tiroir est de $0^m,009$, elle descend à $0^m,008$ dans les courbes des branchements; les voies de triage proprement dites sont horizontales.

Il y a douze voies de triage, mais le tiroir en pente dessert en outre les 9 voies des halles à marchandises.

Les voies de triage, de 450 mètres de longueur moyenne, sont en cul-de-sac, ce qui présente beaucoup moins d'inconvénients avec un tiroir en pente qu'avec les voies horizontales.

Le tiroir en pente rend, en général, l'élargissement du faisceau plus désirable que son allongement; on facilite ainsi la répartition des wagons dans l'ordre de leur desti-

nation, et on les classe dès la première opération, sans être obligé de les reprendre. Il serait fort à désirer que les anciennes gares de triage, en Allemagne, fussent modifiées dans ce sens. On éviterait ainsi l'emploi de deux machines manœuvrant simultanément, cause fréquente d'accidents, par suite de la confusion des signaux adressés aux mécaniciens.

7° *Gare de Chemnitz.* — La disposition de cette gare est très-convenable et très-sûre. Le tiroir, en pente de $0^m,010$ a 325 mètres de longueur et dessert 5 voies de triage et 8 voies de charbon de 428 mètres de longueur en moyenne.

Les voies de triage sont horizontales; les voies de marchandises y communiquent avec une contre-pente de $0^m,005$, ce qui, suivant les employés de la gare, est très-commode pour y amener les wagons sans machine.

8° *Gare de Zwickau* (*). — Cette gare, qui reçoit les charbons du bassin houiller de Zwickau, est la plus convenable de toutes. Elle date de 1861 et 1866. Il y a trois faisceaux distincts. Les tiroirs, dont l'un a jusqu'à 600 mètres de long, sont en pente de $0^m,01$; cette pente se prolonge du tiers à la moitié des voies de triage; le reste est horizontal. Dans deux des faisceaux, les voies se rattachent par des communications à leur extrémité. Les faisceaux ont de 11 à 17 voies de 300 à 400 mètres de longueur.

Les trains amenés sur le tiroir sont triés en 10 à 15 minutes, et les voies de triage sont assez longues pour y former un train complet, qui part de là sans subir d'autre modification.

La gare de Zwickau peut trier couramment, en une heure, sur un seul de ses faisceaux, 300 essieux, en 75 opérations (au maximum, 450 essieux en 112 opérations), et le tout est fait avec ordre et calme, ce qui indique que le but

(*) Voir *fig.* 1, Pl. 24.

est bien atteint et donne confiance dans la sûreté du mode d'opération.

En effet, la gare reçoit chaque jour 167 trains, et cependant il n'y a eu qu'un homme tué depuis 12 ans. Les blessures, les avaries de wagons sont insignifiantes. Grâce à ce système, les avaries de wagons sont moitié moindres en Saxe qu'en Prusse.

On dépense en Saxe, pour les réparations, 0,26 pfennig par kilomètre et par essieu au lieu de 0,40 en Prusse.

9° *Gare de Saint-Géréon, à Cologne.* — Cette gare dessert les cinq lignes de Cologne-Aix, Bingerbruck, Bonn, Obercassel, Clèves avec embranchement d'Essen; en outre, le chemin de Cologne-Minden y aboutit par le pont du Rhin, et plus tard la ligne d'Eifel et celle de Dortmund y arriveront aussi.

Outre les triages nécessaires pour former des trains complets dans ces diverses directions, il faut encore disposer les wagons pour le trafic local, soit dans la gare de Saint-Géréon, soit dans les gares secondaires de Saint-Pantaléon et du Rhin, pour les ateliers, l'embranchement de Nippes et la gare d'Ehrenfeld. De même, des trains spéciaux arrivent de ces diverses stations secondaires et doivent être divisés lorsqu'ils arrivent à la gare de Saint-Géréon.

Ce qui se fait pour les trains se fait aussi pour les wagons. Toutes les marchandises qui n'arrivent pas par wagons complets sont transbordées dans la halle centrale, qui sert également pour le trafic local.

Jusqu'à ces dernières années, la gare de Saint-Géréon n'avait pas de voie spéciale de tiroir; le triage se faisait, avec grande dépense de machines et de chevaux, sur la voie principale Cologne-Bingen.

La pente de la voie de tiroir de $0^{m},006$ est trop faible; il aurait fallu lui donner $0^{m},008$; mais les conditions imposées par le rayon des courbes ont obligé à limiter la pente. Aussi, pour achever le triage, est-on forcé tantôt de

donner des coups de machine, tantôt d'employer des chevaux, pour conduire les wagons à leur place. Aussi trier 3.600 essieux par 720 opérations en 12 heures est un résultat extraordinaire, dû surtout à l'habileté du personnel.

La voie de tiroir commande 20 voies destinées au triage.

Les guérites d'aiguilleurs sont distribuées tout le long de la voie mère, et les aiguilles sont munies de longues tiges, de sorte que, sans presque se déplacer, le même aiguilleur peut manœuvrer 3 à 4 aiguilles.

Énumération des avantages des tiroirs en pente. — En suite de ces observations, la commission, à l'unanimité, est d'avis que le triage au moyen d'une voie de tiroir en pente, de façon à utiliser la force de la pesanteur pour faire arriver les wagons sur les diverses voies de distribution, est la méthode *la plus convenable, la plus rapide, celle qui exige le moins d'espace et qui entraîne le moins de danger pour les hommes, le moins d'inconvénients pour le matériel.*

1° Cette méthode est la plus rapide.

On sait que le triage des wagons exige environ les deux tiers du temps nécessaire pour décomposer un train et le recomposer.

Sur des faisceaux desservis par un tiroir en pente, chaque opération de triage exige 35 secondes, ce qui fait 3/4 de minute en y comprenant le départ des wagons.

Par les méthodes ordinaires (tiroir horizontal), il faut 3 minutes, c'est-à-dire quatre fois plus de temps, et l'on doit observer que le temps nécessaire pour le départ des trains est le même.

2° C'est celle qui exige le moins d'espace.

Cela résulte de ce qui vient d'être dit, car il est clair que si l'on met moitié moins de temps à trier un train, on peut espérer ne pas être obligé de construire un second faisceau, jusqu'à ce que le nombre des trains soit doublé par suite de l'augmentation du trafic moyen de la gare.

Voici, en effet, des résultats déduits de la comparaison des deux systèmes de gares de triage :

Avec une voie en pente on trie en moyenne 5.960 essieux (gare de Zwickau) en 20 heures, travail effectif, par 1.500 opérations. La longueur des 18 voies est de $9^k,200^m$; deux machines de manœuvre sont seulement affectées à ce service.

Au contraire, une gare de triage horizontale (la gare de Deutzerfeld), avec 8 kilomètres de voies réparties en quatre groupes différents et 7 machines, ne peut faire plus de 4.000 essieux par jour.

Si l'on prend une moyenne sur un grand nombre de gares établies dans les deux systèmes, on trouve que pour 11.000 opérations de triage environ par jour, la méthode des tiroirs en pente exige 63 kilomètres de voie, tandis que la méthode des voies horizontales en demande 102.

C'est une différence de 36 p. 100 en faveur des voies en pente.

Si l'on tenait compte du nombre des wagons triés, lesquels par suite de circonstances locales ne sont pas en même nombre de part et d'autre dans chaque opération, on aurait une économie de 45 p. 100 dans la longueur.

On peut donc compter d'une manière à peu près certaine sur une économie de 40 p. 100 environ.

3° C'est la méthode la plus économique.

Les observations faites sur 35,440 essieux font ressortir le prix à environ $0^f,07$ par essieu (ou $0^f,15$ par wagon) et à $0^f,30$ environ par opération si le tiroir est en pente. Une machine range par jour 1.772 essieux en 429 opérations.

Pour un même nombre de wagons manœuvrés sur tiroir horizontal, la dépense est de $0^f,17$ par essieu (ou $0^f,34$ par wagon) et de $0^f,625$ par coup de machine. Une machine manœuvre seulement 557 essieux en 153 opérations.

L'économie est donc de 45 p. 100 environ.

Il n'est pas inutile de faire remarquer que, à cause des nombreuses bifurcations des chemins allemands, réduire de moitié le temps passé dans les voies de triage, c'est faire gagner chaque jour deux heures au moins à chaque wagon, et, par conséquent, pour les wagons étrangers, c'est un douzième du temps de location. On gagne tout autant pour les wagons qui appartiennent aux compagnies elles-mêmes, et l'on suffit ainsi avec moins de wagons à un même trafic. En outre, on diminue l'espace occupé par les voies et l'on sait que dans les gares l'espace est toujours trop limité.

Enfin la capacité de travail des faisceaux de triage est augmentée dans une notable proportion, ce qui est de la plus grande importance, surtout pour les opérations militaires.

4° Cette méthode présente pour les hommes et pour le matériel beaucoup moins de danger que le triage par voies horizontales.

Cela résulte de la comparaison des statistiques d'accidents en Prusse et en Saxe, car en Prusse il n'y a presque pas de voie de tiroir en pente.

Or on compte :

	En Prusse :			En Saxe :
1 mort sur. .	391.721	kilom. de train	= sur.	460.594 kilom.
1 blessé sur.	121.728	—	= sur.	921.188 —

parmi les employés et ouvriers.

Si l'on réduit la comparaison aux statistiques propres au triage, elle est encore plus favorable.

Car on trouve (en tenant compte du nombre de kilomètres de trains triés) :

Hommes tués . . .	2.8	en Prusse pour 1 en Saxe.
— blessés. .	6.5	

Sur les voies en pente tout le danger provient de la nécessité de recourir au bâton pour modérer la vitesse des

wagons dépourvus de freins. Avec des précautions on peut s'en servir sans inconvénient. Si les autres systèmes causent plus d'accidents, cela tient à la hâte avec laquelle on opère lorsque l'heure presse; de plus, le mécanicien dans le cas du tiroir en pente n'a presque rien à faire, et, par suite, son attention n'est pas fatiguée, lorsqu'il doit manœuvrer.

Comme la longueur des voies de triage peut être réduite de 40 p. 100, cela facilite d'autant les manœuvres. Enfin le décrochage des wagons se fait au repos et l'accrochage des wagons est moins dangereux que lorsqu'ils sont poussés par la machine. L'accrocheur mesure plus facilement la vitesse du wagon isolé que celle des wagons lancés par la machine.

Quoi qu'il en soit, la commission insiste sur la nécessité d'augmenter le nombre des wagons de marchandises pourvus de freins.

Le défaut de freins entraîne d'ailleurs beaucoup de difficultés dans la composition des trains sur les lignes à pentes fortes. Quelquefois on est obligé d'intercaler des wagons vides, pour en avoir le nombre réglementaire.

La commission recommande donc instamment *l'introduction obligatoire de freins pour tous les wagons de marchandises à construire et l'addition de freins à tous ceux qui existent.*

Une commission devrait être nommée pour le choix d'un système d'une action convenable, simple et économique.

D'après les expériences faites jusqu'ici, un seul frein de bois mû par un levier à main et à crémaillère serait suffisant. Il évite d'obliger les agents à tourner une manivelle et à monter sur les wagons.

Les freins à vis devraient avoir la manivelle de côté le plus bas possible et disposée de manière qu'on puisse l'atteindre facilement quand le wagon est en mouvement;

il faut que l'homme de manœuvre puisse, en montant sur un marchepied et en se tenant à une poignée, tourner la manivelle ou bien manœuvrer le levier. Les wagons fermés avec frein intérieur devraient avoir, en outre, à l'extérieur un frein à levier pour que l'on puisse le faire fonctionner sans monter dans le wagon.

Quelque élevés que soient les frais de ces installations, on peut être certain qu'ils seraient rapidement couverts par les économies de réparations de matériel, et l'on obtiendrait, par-dessus le marché, les avantages énumérés ci-dessus.

On pourrait même, par suite de l'introduction générale de ces freins à levier, qui rendront les opérations de triage moins dangereuses pour le matériel, construire à l'avenir les wagons plus légèrement et retrouver ainsi une nouvelle source d'économie (*).

Conclusions sur les meilleures dispositions à donner aux gares de triage avec tiroir en pente. — La pente doit être de $0^m,0066$, en général; mais, suivant le cas, on peut aller de $0^m,005$ à $0^m,010$, s'il est à propos de donner une inclinaison ou plus forte ou plus faible.

Il faut tenir compte du vent régnant et, autant que possible, se placer à 45° sur sa direction.

La courbure des voies devra entrer en considération pour augmenter la pente, s'il y a lieu.

Depuis la première aiguille jusqu'au delà de la courbure des branchements, il faut abaisser la pente à $0^m,004$ environ. Les voies de triage elles-mêmes, si elles sont courtes et en ligne droite, doivent être horizontales, sinon légèrement en pente.

Il peut être utile d'avoir une voie latérale pour dégager

(*) La compagnie des chemins de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée a décidé, depuis plusieurs années déjà, que tous les wagons à construire seraient pourvus de freins.



la machine pendant que le triage se fait; cependant il est rare qu'on puisse employer pendant l'opération la machine de manœuvre à autre chose. Il n'est pas désirable de se rattacher à la voie principale par l'extrémité du tiroir.

Toutes les aiguilles qu'un même aiguilleur doit manœuvrer doivent être desservies par un appareil central de leviers d'aiguilles.

Le nombre et la longueur des voies de triage dépendent du travail à faire dans chaque gare. Il faut autant que possible qu'il y en ait assez pour qu'un wagon arrive à sa place définitive du premier coup. Une large installation de 10 à 20 voies d'une longueur modérée sera, dans la plupart des cas, la plus avantageuse.

S'il faut former, comme à Saint-Géréon et à Zwickau, plusieurs trains complets, les voies seront assez longues pour les recevoir facilement; dans les autres cas, la longueur répondra seulement à celle des lots à former.

Dans les gares de déchargement de charbons et autres produits encombrants, il est très-avantageux de faire arriver les wagons d'une voie de tiroir en pente sur les voies de déchargement ou devant les quais d'arrivage.

Réciproquement, on peut utiliser, comme on le fait à Chemnitz, la pente pour faire arriver les wagons chargés sur les voies de formation des trains.

La réunion de l'extrémité des voies de triage par des branchements peut, à quelques égards, présenter des avantages, mais elle n'est pas indispensable, et, dans tous les cas, quand le nombre des voies est considérable, il ne faudrait pas les réunir toutes.

II. — LES TRIAGES A L'AIDE DE CHARIOTS A VAPEUR.

Le fonctionnement des chariots circulant sur une voie transversale au niveau des voies qu'ils desservent, et mis en mouvement par une machine à vapeur qui se déplace avec le chariot, a été observé à Berlin, Nuremberg, Wurtzbourg et Strasbourg.

On sait que l'emploi de ce genre de chariot dans la gare de marchandises de Wurtzbourg date de 1867. En 1862, on en avait projeté un pour la gare de marchandises de Brunswick, mais il n'a pas été exécuté, et en 1863 on en a placé un pour le service seulement des ateliers.

Les premiers sont disposés de manière à pouvoir passer par-dessus les voies principales sans les entailler (système Dunn).

Aux ateliers de Brunswick on a entaillé les rails et pu donner aux galets un diamètre trois fois et demi plus grand, ce qui permet de faire marcher le chariot deux fois plus vite.

On vient d'en construire un second du même système pour la gare de Brunswick : on a entaillé les rails de $0^m,08$; on aurait pu même se contenter de les entailler de $0^m,06$.

Le chariot de Wurtzbourg est élevé de $0^m,15$ au-dessus des voies longitudinales pour donner aux longerons une résistance suffisante; de longues aiguilles en rampe permettent d'y monter, mais il faut l'emploi d'une certaine force de la machine pour y amener un wagon chargé.

Quand les rails sont entaillés, on peut réduire de moit cette hauteur.

L'emploi d'eau comprimée, quand on en a à sa disposition pour d'autres besoins, est très-avantageux pour la manœuvre de ces chariots, car il permet de n'occuper qu'une voie à la fois; mais il serait trop coûteux d'installer un moteur hydraulique dans ce seul but.

A Nuremberg, le chariot dessert 4 voies principales,

5 voies de formation de trains et une voie de chargement. Son principal avantage est de tenir la voie de chargement, le long du quai couvert, constamment libre. Le chariot place immédiatement les wagons sur leur voie de départ et de façon qu'un nouveau triage n'est plus nécessaire.

Les wagons sont amenés sur le chariot au moyen d'un câble qui s'enroule sur un treuil mis en mouvement par la machine à vapeur. Ce câble peut aller jusqu'à une distance de 80 mètres.

La dépense est de 6,8 kreutzers par wagon ($0^f,24$) y compris l'amortissement. On estime à Nuremberg la dépense de manœuvre par plaque à raison de 10,5 kreutzers (ou $0^f,5675$) par wagon, soit 50 p. 100 de plus qu'avec le chariot.

A Wurtzbourg, le chariot croise les 24 voies de la gare et va depuis la voie des quais de chargement jusqu'à la voie des ateliers. Les ingénieurs de l'exploitation et du matériel le considèrent comme un moteur indispensable. Lors d'une mise en réparation du chariot, une locomotive de manœuvre ne put suffire à dégager le service des marchandises. Le nombre des wagons manœuvrés est généralement de 10 à 12 par heure, et la dépense ressort à 0,77 groschen ($0^f,10$ environ) par essieu ou 0,20 par wagon. A Wurtzbourg, comme à Nuremberg, on peut au besoin manœuvrer avec le chariot jusqu'à 180 wagons par journée de travail effectif de 12 heures.

A Berlin (gare de Berlin-Postdam-Magdebourg), on a installé, en 1870, un chariot du prix de 4.930 thalers (18.500 francs); il a $7^m,20$ de longueur sans les aiguilles; il repose sur 4 files de rails. La machine travaille à la pression de 6 atmosphères. Le chariot dessert 11 voies de chargement et déchargement. Il a rendu les plus grands services pendant la guerre et utilise beaucoup mieux les voies de déchargement qu'on ne pourrait le faire sans lui.

A Strasbourg, le chariot, de 7 mètres de longueur, re-

pose sur 4 files de rails; il sert aussi bien à placer les voitures de voyageurs et les fourgons des trains qu'à manœuvrer les wagons de marchandises.

A Brunswick, le chariot ne sert que pour les ateliers de réparation. Le prix des manœuvres revient seulement à 0.34 gros. par essieu, moitié moins que le prix de revient à Wurtzbourg (il s'agit, il est vrai, de wagons vides).

Conclusions. — La commission recommande les chariots à vapeur pour les grandes halles à marchandises et pour les gares d'arrivages de produits encombrants. Ils ont le grand avantage de placer les wagons vides ou pleins isolément, et sans déranger les opérations de chargement. La manœuvre d'ailleurs est plus économique qu'avec une locomotive.

L'expérience apprend, en effet, que pour amener ou emmener les wagons le long des quais à l'aide d'une machine, il faut interrompre le chargement, et on ne peut le faire qu'à des intervalles éloignés, deux ou trois fois par jour. Il en résulte une gêne très-grande, des pertes de temps, une mauvaise utilisation des wagons.

Ils sont également très-utiles en tête des halles à voyageurs dans les stations têtes de ligne.

On doit éviter de leur faire traverser les voies principales par raison de sécurité.

Autant que possible il faut augmenter le diamètre des galets pour rendre la manœuvre des chariots plus facile, et augmenter ainsi son rendement.

Les chariots paraissent peu propres au triage des wagons à cause de leur capacité limitée, 24 à 30 essieux par heure, parce qu'ils ne peuvent recevoir qu'un wagon à la fois, et enfin parce qu'ils reviennent le plus souvent à vide.

Dans les grandes gares de triage, on doit leur préférer les voies de tiroir en pente.

III. — LES TRIAGES AU MOYEN DE PLAQUES TOURNANTES.

Les plaques ne sont point employées en Allemagne, si ce n'est à Strasbourg et dans la nouvelle gare Saint-Géréon, à Cologne.

A Strasbourg, elles rendent de très-bons services, quoique plusieurs grands wagons allemands n'y puissent point tourner.

A Cologne, la disposition des plaques est curieuse : 7 plaques de 5 mètres de diamètre se trouvent sur une même voie d'arrivée et desservent chacune deux voies de déchargement perpendiculaires à la première.

Les wagons chargés ou déchargés (la halle sert également de quai de transbordement) passent sur une voie de sortie.

Cette disposition a permis d'utiliser à 51 pour 100, en 1874, le chargement des wagons, quand, en 1868, on n'utilisait que 30 pour 100.

Et si l'on compte le loyer des wagons à l'ancien taux de 1 gros. par mille, on a économisé pendant le premier trimestre de 1874, à raison de 11 milles 1/2 par wagon, une somme ronde de 8,830 thalers. Il faut retrancher de cette somme les frais inévitables de transbordement et de triage, mais on économise la dépense de manœuvre des wagons vides en surplus.

Cet exemple montre le parti qu'on peut tirer des plaques tournantes, surtout pour les gares de transbordement.

La gare Saint-Géréon offre aussi un exemple de triage des trains destinés au trafic local au moyen de voies rayonnant autour d'une plaque tournante. Elles sont assez longues pour recevoir les wagons destinés à l'une des stations qui desservent Cologne. Après l'opération, les wagons sont répartis en groupes correspondant à chacune de ces stations ; il suffit de les ramener dans l'ordre des stations. C'est, d'après les employés de la gare, le mode de rangement le plus expéditif.



IV. — CONCLUSIONS.

En conséquence, la commission recommande les tiroirs en pente pour les grandes gares de triage comme le système le plus rapide, le plus sûr, le plus économique; les chariots à vapeur pour les grandes gares de marchandises comme un moyen économique et rapide pour l'échange des wagons; les plaques tournantes pour les grandes gares de transbordement comme le meilleur moyen de bien utiliser les chargements; enfin, les freins à tous les wagons de marchandises pour faciliter les manœuvres et simplifier la composition des trains.

En résumant les chiffres relevés dans les gares sur lesquelles ont porté les observations, on arrive à déterminer le prix de revient moyen des divers modes de triage pour les wagons de marchandises.

	Par wagon.
1° Manœuvres à la machine sur voies horizontales.	0f,345
2° Manœuvres avec des chevaux et par plaques tournantes.	0f,375
3° Manœuvres a l'aide de chariots à vapeur.	0f,220
4° Manœuvres par la gravité sur voies de tiroir en pente. .	0f,142

Les tableaux suivants renferment les principaux renseignements recueillis par la commission dans diverses gares de chemins de fer. Ils permettent de comparer d'un coup d'œil la manière dont se comportent les deux systèmes de gares de triage. Ils montrent la capacité de travail de chaque faisceau, le prix de revient de la manœuvre d'une tranche de wagons, le prix final calculé par vagon, enfin la durée de la manœuvre d'une tranche de wagons, véritable moyen d'apprécier la valeur relative des deux systèmes de triage.

TABLEAUX

DU

TRIAGE DANS LES GARES.

1° Principaux résultats du triage dans les gares avec tiroir en pente.

GARES — Pente du tiroir.	NOMBRE et longueur des voies	RENDEMENT y compris manœuvres accessoires.				NOMBRE moyen employé			PRIX de revient.		TEMPS NÉCESSAIRE pour la manœuvre d'une tranche de wagons.	OBSERVATIONS
		Moyenne par jour. Wagons.	MOYENNE par heure. Opérations	MOYENNE par heure. Wagons.	Maximum par jour. (20 heures.)	Machines.	Chevaux.	Hommes.	par wagon.	par manœuvre.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Halle....... 0,0033	7 voies	2.100	40	105	2.500	3	»	»	0.153	0.435	84″	Pente du tiroir trop … La machine lan… wagons.
2. Leipzig. 0,0033	13 voies	750	36	90	2.000	3	»	»	0.153	0.40	96″	En réalité on fait … gons en 8 heures … vait. On pourrait … 1.500 en 15 à …
3. Leipzig. 0,005	9 voies 9.200 mèt	1.250	45	75	1.500	2	»	32	0.154	0,277	80″	Habituellement … vre seulement … gons.
4. Leipzig. 0,004	8.300 mèt.	·	37	95	1.900	2	2	38	0.144	0,37	70″	
5. Dresde Neustadt. 0,019 sur voie princip[le]. 0,005, tiroir.	6.500 mèt.	—	65	90	1.800	2	»	32	0.136	0.19	56″	Les trains se co… ordinairement … vides. Le travail sur la … cipale est … passage de … arrivant ou part…
6. Dresde Altstadt.. 0,01 en moyenne.	2 faisceaux 7.300 mèt.	2.200	60	110	2.500	2	»	44	0.124	0.234	32″	
7. Chemnitz..... 0,01	13 voies 4.230 mèt.	1.640	35	82	4.500	2	»	24	0.136	0,37	88″	Les wagons … avec une vitesse … nable. Il est … les lancer à … En septembre … trié à Chemnitz … 2.500 wagons …
8. Zwickau...... 0,01	18 voies 9.200 mèt.	2.980	75	199	4.500	2	»	30	0,072	0.164	48″	Les chiffres ne … qu'à l'un des … On pourrait … excessive trier … gons par heure … faisceau. Il y … blables à … Zwickau, ce … au besoin de … jusqu'à 12…
9. Cologne...... 0,0033	20 voies 12.800 mèt.	1.800	60	150	3.000	2	16	46	0,194	0.476	72″	Pente de tiroir … la machine … de donner … aux wagons
Moyennes.....	»	—	52	110	»	»	»	»	0,142	0,324	72″	

2° Principaux résultats du triage dans les gares avec tiroir horizontal.

GARES.	NOMBRE et longueur des voies.	RENDEMENT y compris manœuvres accessoires.				NOMBRE moyen employé			PRIX de revient.		TEMPS NÉCESSAIRE pour la manœuvre d'une tranche de wagons.	OBSERVATIONS.
		Moyenne par jour. Wagons.	MOYENNE par heure. Opérations.	MOYENNE par heure. Wagons.	Maximum par jour. (20 heures).	Machines.	Chevaux.	Hommes.	par wagon.	par manœuvre.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
[illegible] [illegible]	16 voies 12.400 mèt.	1.110	29	72	1.750	6	»	32	0,40	1,00	»	Il y a 5 faisceaux; on trie sur 3 ou 4. Il y a habituellement 8 machines de manœuvre en service en même temps.
[illegible]tz. 156.	13 voies 12.400 mèt.	1.000	36	50	1.250	8	»	26	0,72	0,80	»	On trie sur deux groupes à la fois et par les deux bouts.
[illegible]k. [illegible]	24 voies 15.200 mèt.	»	60	90	1.800	6	2	11	0.337	0,50	»	
[illegible]	15 voies 8.400 mèt.	»	32	55	1.100	4	»	22	0,38	0,60	»	
[illegible]	12 voies 4.200 mèt.	»	30	90	1.800	4	»	34	0.225	0.675	»	Quand le trafic est très-fort, on fait 1.750 wagons par jour.
[illegible]usen	8 voies 6.300 mèt.	1.700	15	85	1.900	4	»	26	0,152	»	»	
[illegible]	»	»	»	»	»	»	»	»	0.315	0.70	37	D'après les renseignements de M. Scheffler, l'opération du triage proprement dit est 4 fois plus longue que sur les voies en pente.

[illegible] — Les prix de revient ne comprennent que le personnel affecté aux manœuvres, savoir :

Le sous-chef de station à	6,25	par jour (10 heures de travail effectif).	
Les chefs de manœuvre à	5,00	*id.*	
Les accrocheurs. . . . . à	3,75	*id.*	
Les manœuvres. . . . . à	2,80	*id.*	
Les chevaux. . . . . . . à	5,60	*id.*	non compris le conducteur.
La machine. . . . . . . à	75,00	*id.*	

Prix de revient des opérations de triage dans les gares de la Guillotière, de Portes et de Terrenoire.

I. — GARE DE LA GUILLOTIÈRE (LYON).

La gare de triage de la Guillotière comprend deux faisceaux de triage distincts, l'un pour les trains impairs, l'autre pour les trains pairs.

Nous ne discuterons ici que les résultats donnés par le travail du triage sur le faisceau impair, où le mouvement est plus considérable (environ le double : 1.200 wagons contre 600) et où les batteries de plaques ayant $4^m,40$ de diamètre permettent un travail plus régulier, tandis que les batteries du faisceau pair n'ont que $3^m,75$ de diamètre, et, de temps en temps, on est obligé de faire remonter les wagons par les chevaux jusqu'aux aiguilles pour les changer de voie. Aussi le prix de revient des manœuvres avec les chevaux ressort avec une augmentation de 10 centimes environ sur ce faisceau.

Le faisceau impair, qui s'étend entre les chemins de la Croix-Barret et du Moulin-à-Vent, se compose de 16 voies, dont 8 sont réunies par les deux bouts.

Deux tiroirs de 300 mètres de longueur, l'un au nord, l'autre au sud, sont disposés horizontalement pour effectuer les manœuvres à la machine. Le tiroir nord sert peu, il ne se relie d'ailleurs qu'à 5 voies; aussi peut-on considérer cette gare comme desservie par un seul tiroir établi à l'extrémité du faisceau et du côté où entrent les trains par refoulement et par où sortent les trains formés ainsi que les machines de manœuvre, disposition qui entraîne des inconvénients particuliers, comme nous le verrons.

Enfin, deux batteries de plaques de $4^m,40$, séparées par

un intervalle de 170 mètres, permettent de trier, à l'aide de chevaux, les fractions de trains amenées à portée de ces plaques par les machines de manœuvre. Ces deux batteries se composent, l'une de 11 et l'autre de 13 plaques. On voit qu'elles ne sont complètes ni l'une ni l'autre. Nous apprécierons plus loin les conséquences de ces lacunes.

Les opérations faites sur ce faisceau ont été pointées exactement pendant une période de quinze jours. Voici le résultat qu'on peut en déduire :

Le mouvement total des wagons amenés sur le faisceau impair est de 1.189 par jour, en moyenne. Mais, par suite de lacunes dans les batteries de plaques, 53 wagons sont repris et manœuvrés une deuxième fois pour les amener à la place qu'ils doivent occuper définitivement, ce qui donne un mouvement réel de 1.242 wagons. C'est sur ce chiffre que nous établirons les prix de revient, en évaluant séparément le travail des machines et le travail des chevaux.

Travail des machines. — Le nombre des wagons manœuvrés par machine, en 20 heures de travail, est de 775, donnant lieu à 85 coups de machine, c'est-à-dire que le coupon moyen de wagons se compose de 9^{wagons},12, circonstance favorable au point de vue de l'économie dans le prix de revient de manutention par wagon.

D'après des expériences répétées à plusieurs reprises, la durée d'une manœuvre pour une tranche de wagons est de 6 minutes, le nombre de wagons manœuvrés par heure est de 91^{wagons},2.

On emploie sur le faisceau impair deux machines donnant 40 heures de travail; mais sur ce nombre il y en a moitié, soit 20 heures, employées à faire passer des tranches de wagons d'un faisceau sur l'autre, ou bien à desservir les voies du trafic local de la Guillotière pour arrivages et expéditions, à former les trains omnibus, etc.

Le reste devrait être employé aux manœuvres; mais, par le fait, plus de moitié encore de ce temps est perdu pour la machine qui reste immobile pendant que les trains entrent ou sortent des voies de triage; cela tient à la disposition du tiroir, qui est du même côté que les aiguilles donnant l'entrée ou la sortie aux trains et aux machines.

Il résulte des renseignements fournis par le service de l'exploitation que la dépense journalière du triage, proprement dit, par machine à la gare du Moulin-à-Vent est de 203f,52, indépendamment du temps employé au passage d'un faisceau sur l'autre, etc.

D'après ce qui précède, la valeur du temps perdu par la machine et le personnel, immobilisés pendant la moitié de la journée, est de 101f,76 par jour, soit par an plus de 36.000 francs.

On voit qu'il y aurait eu intérêt à faire la dépense nécessaire pour relier toutes les voies à un tiroir spécial du côté opposé à l'entrée des trains, si cela eût été possible.

Car pour relier 16 voies au moyen de branchements, on ne dépenserait pas plus de 70.000 francs, savoir : 48.000 francs pour 16 branchements et 22.000 francs pour la longueur des portions de voie de raccord non utilisées pour les manœuvres de triage.

Cette disposition a d'ailleurs, en général, l'avantage de ne pas permettre aux agents des gares d'oublier des wagons isolés, refoulés au fond des voies en cul-de-sac, dans les moments d'encombrement.

Si l'on recourait aux aiguilles en pointe dans le sens du mouvement pour faire entrer les trains sur le faisceau de triage, on remédierait à plus de moitié de l'inconvénient signalé; il resterait seulement comme temps perdu celui qui est nécessaire pour la sortie des trains et machines.

En résumé, pour un travail appliqué à 775 wagons sur le faisceau impair du Moulin-à-Vent, il y a 85 coups de machines, et la dépense par jour est de 203f,52; ce qui

donne, par coup de machine, une dépense de $2^{f},39$, et par wagon, une dépense de $0^{f},2620$.

Ces dépenses ne comprennent pas les frais d'aiguilleurs ni d'agents ou machines employés à introduire les trains sur les voies de triage. Ce détail aura son importance quand il faudra comparer les dépenses de la gare de Terrenoire avec celles de la gare de la Guillotière.

De plus, on ne perdra pas de vue que, par suite des triages préalables opérés dans les gares précédentes, le nombre de wagons, par coupon manœuvré à la machine, est de $9^{\text{wagons}},12$.

Travail des chevaux. — Le nombre de wagons manœuvrés par des chevaux est de 467, y compris les doubles manutentions que nous avons déjà signalées, au nombre de 53, et dont il convient de tenir compte pour avoir le prix de manutention d'un wagon par plaques.

Ces manœuvres, effectuées sur deux batteries distinctes, emploient 70 heures de cheval; on a donc, pour le travail effectué sur chaque batterie, 234 wagons pour 35 heures de cheval.

C'est donc 12 wagons par batterie et 7 wagons par cheval et par heure.

On en conclut facilement qu'il faut, en moyenne, 9 minutes par cheval pour la manœuvre d'un wagon, y compris les temps perdus, car l'expérience directe enseigne que la manœuvre proprement dite ne dure pas plus de 6 minutes en moyenne.

Le prix de revient des triages avec les chevaux ressort, au Moulin-à-Vent, à $0^{f},2475$ par wagon, en ne tenant compte que des chevaux et des hommes spécialement attachés à ce travail.

Si l'on veut comparer ce prix de revient à celui du travail effectué par les chariots à vapeur (dont la capacité est au moins égale à celle des batteries de plaques), il faut intro-

duire dans le premier l'entretien et l'amortissement du capital de premier établissement, comme on l'a fait pour le triage par chariot à vapeur.

Or, à la Guillotière, les deux batteries sont composées de 24 plaques de $4^{m},40$, représentant un capital de 108.000 francs, ce qui, à raison de 10 p. 100 pour intérêt, amortissement et entretien, représente une dépense de 10.800 francs par an, ou $29^{f},58$ environ par jour.

Cette dépense se répartit sur 467 wagons, et augmente le prix de revient de $0^{f},0653$ par wagon, de sorte qu'en réalité, le triage d'un wagon coûte $0^{f},2475 + 0^{f},065 = 0^{f},31$.

Nous avons signalé les doubles manœuvres produites par le défaut de 5 plaques sur la batterie sud. Le capital correspondant à leur établissement (22.500 fr.) augmenterait de $6^{f},25$ par jour les frais du triage par plaque; mais permettrait d'économiser la dépense de chevaux et main-d'œuvre pour la manutention de 53 wagons, soit $53 \times 0^{f},2475 = 12^{f},50$.

L'économie serait, en réalité, de $6^{f},25$ par jour ou 2.250 francs par an. Il y aurait donc avantage à faire disparaître la lacune en question.

En résumé, le triage par plaques comporte un passage de 12 wagons par batterie et par heure. Un cheval met 9 minutes à chaque manœuvre. Le prix de manutention est de $0^{f},2475$; il s'élève à $0^{f},31$, si l'on tient compte du capital engagé. Il dépasse, par conséquent, le prix du triage par chariot à vapeur, lequel ressort seulement à $0^{f},22$ par wagon, y compris l'amortissement, d'après les relevés faits en Allemagne.

II. — GARE DE PORTES (PRÈS VALENCE).

La gare de Portes se compose de deux faisceaux : l'un pour le triage des trains impairs, l'autre pour le triage des trains pairs. Ce dernier est le plus complet ; c'est celui que nous prendrons comme base de notre comparaison.

Le faisceau pair se compose de 18 voies, desservies par deux tiroirs horizontaux de 300 mètres de longueur franche.

Les voies de triage, dont la longueur moyenne est de 500 mètres, sont toutes en cul-de-sac.

Une batterie de plaques de $4^{m},40$ est établie à 100 mètres de l'extrémité des voies. Cette batterie se compose de 17 plaques ; la voie 4, longeant les voies principales, n'en est pas pourvue et sert de voie de garage pour les trains.

Le nombre total des wagons manœuvrés pendant une journée est de 1.130.

Travail des machines. — Le nombre de wagons manœuvrés par deux machines, en 20 heures de travail, est de 800, donnant lieu à 133 coups de machine, c'est-à-dire que le coupon moyen se compose de 6 wagons seulement, circonstance beaucoup moins favorable que celle qui est signalée à la gare de la Guillotière.

On emploie sur ce faisceau deux machines à la fois ; on se sert simultanément de l'un et de l'autre tiroir. Cette circonstance, jointe à la disposition des tiroirs, reliés par des aiguilles, à leur extrémité, avec les voies des machines, devrait avoir pour résultat de réduire les pertes de temps, et cependant la durée moyenne d'une opération est de 18 minutes, tandis qu'à la Guillotière elle est de 12 minutes. Cela vient de ce que les parcours de machines sont beaucoup plus longs à Portes, où la batterie des plaques se trouve trop rapprochée de l'extrémité des voies. Aussi le prix de revient par wagon est de $0^{f},315$, au lieu de $0^{f},2620$,

par suite, à la fois, de la faible importance des tranches manœuvrées à la machine et des pertes de temps résultant des dispositions de la batterie.

Si l'on compte le prix d'un coup de machine, il n'est que de 1f,89, au lieu de 2f,63 à la Guillotière.

Travail des chevaux. — Le nombre de wagons manœuvrés par les chevaux est de 350 par jour; ils emploient 70 heures de cheval.

Le travail effectué sur cette batterie est donc de 17wagons,5 par heure. C'est plus qu'à la Guillotière, et cela provient de l'augmentation du nombre des chevaux qui y sont employés; mais il est probable que ces chevaux se gênent, car la durée moyenne de manœuvre d'un wagon est de 12 minutes, tandis qu'elle n'est que de 9 minutes à la Guillotière.

La dépense moyenne de manutention d'un wagon (non compris l'amortissement du capital) est de 0f,237 contre 0f,2475 à la Guillotière.

Les résultats donnés par ces deux grandes gares de triage sont assez concordants. Nous les résumons ci-dessous.

	MOULIN-A-VENT.	PORTES pair.	MOYENNE.
Nombre de wagons par jour	1.242	1.150	1.196
— par machine	773	800	787
— par chevaux	467	350	409
Nombre de coups de machine	85	133	109
Nombre de wagons par coupon	9.12	6	7.50
Durée moyenne d'une manœuvre par machine (y compris les temps perdus)	12'	18'	15'
Durée moyenne d'une manœuvre par cheval (*idem*)	9'	12'	10'30
Nombre de wagons manœuvrés par batterie et par heure	12	17	14f,50
Prix de revient d'un coup de machine	2f,63	1f,89	2f,26
— de la manœuvre d'un wagon par machine	0f,2620	0f,315	0f,288
Prix de revient de la manœuvre par chevaux	0f,2475	0f,237	0f,242
Prix de revient final par wagon	0f,256	0f,290	0f,273

III. — GARE DE TERRENOIRE (PRÈS SAINT-ÉTIENNE).

La gare de triage de Terrenoire, disposée pour les trains impairs, se compose de quatre parties distinctes :

1° Un faisceau, dit d'accès, composé de 5 voies sur lesquelles les trains entrent au moyen d'une aiguille en pointe donnant sur la voie principale.

Ces voies sont destinées à recevoir les trains de marchandises à déformer, et à en extraire, avant toute autre opération, les wagons destinés au trafic local ou à l'embranchement des forges de Terrenoire.

Ces deux séries d'opérations sont tout à fait distinctes du triage proprement dit, et répondent à un travail spécial qui n'entre pas dans les dépenses dont on a fait le relevé à Portes ou à la Guillotière. Nous ne tiendrons donc pas compte des dépenses correspondant au travail des voies d'accès dans l'évaluation du prix de revient du triage à la gare de Terrenoire.

2° Le faisceau de triage proprement dit est composé de 11 voies sur lesquelles sont répartis les divers lots de wagons suivant leur destination. Toutes ces voies, d'une longueur moyenne de 500 mètres, sont reliées par les deux bouts et communiquent, d'une part, avec les voies d'accès, d'autre part, avec les voies de formation des trains.

3° Les voies de formation, au nombre de trois, reçoivent les coupons destinés à entrer dans la composition d'un même train. Ce travail rentre évidemment dans l'opération de triage qui n'est complète qu'au moment où le train est prêt à partir.

4° Un faisceau, dit de rebroussement, composé de 6 voies en cul-de-sac de 250 mètres de longueur moyenne. Ces voies sont destinées à suppléer à l'insuffisance du nombre de voies du deuxième faisceau, avec lequel elles communiquent directement. Ce faisceau de rebroussement est le

point le plus défectueux de la gare de Terrenoire; nous lui ferons un compte à part, car ses dépenses n'affectent qu'un petit nombre de wagons, déjà triés une première fois, et qui ont ainsi figuré dans l'ensemble de l'opération.

Les voies des divers faisceaux (sauf les voies de rebroussement) sont en pente de $0^{m},014$, comme les voies principales, de sorte que les voies de triage peuvent se raccorder en n'importe quel point avec les voies principales.

Entrée des trains. — L'entrée des trains se fait sur les voies d'accès au moyen d'une aiguille en pointe. Les trains sont coupés sur la voie principale même, pour séparer les wagons destinés au trafic local. Les autres tranches sont placées sur les voies de ce faisceau suivant qu'elles sont libres pour les recevoir.

Ce travail donne lieu à 71 coupures pour 24 trains et 1.046 wagons, à raison de $43^{wagons},6$ par train.

Il se fait donc en moyenne 3 coupures par train; et le nombre de wagons est de $14^{wagons},73$ par coupure.

Les hommes d'équipe accompagnent les fractions de train en manœuvrant les leviers des wagons à frein, disposés à l'avance en nombre suffisant. Les wagons descendent au pas, et les aiguilleurs sont prévenus, soit à haute voix, soit par un numéro inscrit sur le premier wagon, et ouvrent la voie voulue.

Cette manœuvre dure 11 minutes par train, soit $3^{m},7$ par coupure.

Le prix de revient est de $0^{f},027$ par wagon, mais nous n'avons pas à en tenir compte dans notre évaluation de la dépense du triage, pas plus que nous n'avons fait entrer le refoulement des trains, arrivant sur les faisceaux de triage, dans les évaluations relatives aux gares de la Guillotière et de Portes.

Triage par la gravité. — L'opération de triage proprement

dité commence après que les wagons ont été déposés sur les voies d'accès. Elle donne lieu à 673 coupures pour 1.018 wagons, soit 1^{wagon},51 par coupure.

On voit que les trains arrivent à Terrenoire sans aucune préparation, ce qui ne peut manquer d'élever le prix de revient du triage.

La durée du triage est d'environ 53 secondes par wagon ou 84 secondes par opération. C'est ici que ressort la supériorité considérable de la manœuvre par la gravité sur celles qui sont faites, soit avec la machine, soit avec les chevaux.

La dépense totale de ce faisceau est de 129^{f},66 par jour, en ne tenant pas compte dans l'énumération du personnel de quatre préposés à la reconnaissance, qui ne sont pas attachés aux manœuvres du triage proprement dit et dont l'équivalent n'est point compté dans les évaluations des dépenses de Portes et de la Guillotière, non plus que dans celles des gares allemandes. C'est donc 0^{f},127 par wagon ou 0^{f},192 par opération.

Dépense de formation des trains. — Mais il ne suffit pas de classer les wagons, il faut encore, pour terminer l'opération du triage, former les trains complets, composés suivant leur destination, et pour avoir le prix de revient définitif tenir compte des dépenses à faire jusqu'à ce que ces trains soient prêts à partir.

Cette opération de formation des trains se fait sur les faisceaux horizontaux à l'aide de machines de manœuvres. A Terrenoire, elle se fait, comme le triage lui-même, à l'aide de la gravité.

D'après le relevé des observations faites pendant 15 jours, les trains formés dans l'espace de 24 heures se composent de 119 lots de wagons en moyenne, ce qui, pour 1.018 wagons, donne 8^{wagons},55 par coupons à destinations diverses.

La durée de formation des trains est de 48 secondes par

wagon, environ 7 minutes par coupon. La dépense pour ce chef est de 50f,61 par jour, ou 0f,0497 par wagon, et 0f,426 par tranche ou coupon à accrocher.

Prix de revient définitif du triage à Terrenoire. — En définitive, l'opération complète du triage, à Terrenoire, coûte 170f,27, pour un mouvement moyen de 1.018 wagons, et pour 792 coupures ou accrochages successifs, équivalant à autant de coups de machines sur un faisceau de triage horizontal.

Le prix de revient est ainsi de 0f,167 par wagon et de 0f,215 par opération.

Le prix de revient par wagon est presque moitié moindre que celui du triage des wagons à la Guillotière ou à Portes, quoique le nombre de wagons, par chaque coupure, soit moins considérable que dans ces gares.

Quant au prix de manœuvre d'une tranche de wagons, la différence est beaucoup plus forte, puisqu'il n'est que de 0f,215 à Terrenoire, tandis qu'il est de 2f,63 au Moulin-à-Vent, et de 1f,89 à Portes.

Et cependant il est hors de doute que la capacité de travail de la gare de Terrenoire peut s'élever à beaucoup plus de 1.000 vagons, sans que l'ensemble de ses dépenses augmente d'une manière notable.

Ainsi, avec une installation moins coûteuse, avec un tiers de moins de dépense journalière et un travail moins prolongé, on trie, à Terrenoire, à peu près le même nombre de wagons qu'au Moulin-à-Vent (Lyon-Guillotière), et cela, malgré l'état des trains qui n'ont encore subi aucun triage préalable.

Faisceau de rebroussement de Terrenoire. — Il nous reste à dire quelques mots du faisceau de rebroussement.

On amène en moyenne 163 wagons sur les voies de rebroussement. Ces wagons ont déjà subi une manœuvre de

classement et coûté $0^f,167$. Ils n'auraient à subir aucune augmentation s'ils trouvaient la place de leur lot sur les voies de triage proprement dites.

Mais celles-ci étant trop restreintes, on consacre une d'elles à recevoir ensemble les wagons pour les cinq destinations auxquelles sont affectées les voies de rebroussement.

Des chevaux les ramènent ensuite, à contre-pente, à leur place définitive. Il faut 3 chevaux par wagon.

Le prix de revient est de $0^f,64$ par wagon, et la durée de la manœuvre est de $18^m\ 24^s$.

On voit dans quelles conditions défectueuses travaille ce faisceau ; les wagons qui y ont passé ont coûté pour arriver aux voies de formation $0^f,64 + 0^f,167 = 0^f,807$.

La mauvaise disposition du faisceau de rebroussement se traduit par une dépense supplémentaire de 105 francs par jour ou 38.325 francs par an. Si on laissait le triage complémentaire à faire dans une gare horizontale, on ne dépenserait que moitié au plus, soit $0^f,32$ par wagon ou 19.000 francs par an. C'est une question dont le service de l'exploitation se préoccupe, et le faisceau de rebroussement sera modifié prochainement d'une manière satisfaisante.

Observations générales. — Quand on étudie le fonctionnement de la gare de triage de Terrenoire, on est frappé du calme, de la tranquillité avec lesquels se font les opérations. Il n'y a point de bruit, point de préoccupation pour diriger les manœuvres des machines, point d'appel pour les faire avancer ou reculer.

Cependant on ne peut méconnaître que la pente trop considérable des voies amène un peu d'hésitation dans les allures du personnel, qui redoute quelquefois de laisser entraîner les wagons par la gravité avec une trop grande vitesse : de là des arrêts fréquents avec les freins et, par suite, des pertes de temps.

De plus, le nombre de freins aux wagons est complétement insuffisant et leur disposition n'est pas commode.

Il faut souvent, dans les fractionnements du triage proprement dit, faire des mélanges de destination pour avoir des freins; on emploie à cet usage les wagons pour certaines destinations de la 6e section qui ne reçoivent que des wagons à freins; mais il faut ensuite, dans le travail de formation des trains, retirer ces freins intercalés. C'est ce qui entraîne la multiplicité des coupures et rend ce dernier travail beaucoup plus onéreux qu'il ne devrait être.

Pour tirer tout le parti possible des voies de Terrenoire, il faudrait :

1° Que tous les wagons fussent munis de freins à levier (*);

2° Que des installations spéciales adaptées aux wagons permissent aux hommes de monter sur le wagon en s'y tenant sur un seul pied, et de manière qu'ils puissent manœuvrer la barre du frein à levier avec l'autre pied. Ils seraient sûrs alors de pouvoir modérer la vitesse et produire l'arrêt du train à volonté.

On peut affirmer que l'opération ainsi conduite offrirait beaucoup plus de sécurité que les manœuvres actuelles, et elle serait, en outre, beaucoup plus rapide. Il est probable qu'avec ce moyen on diminuerait de plus de moitié la durée du triage par wagon. La capacité du faisceau de Terrenoire pourrait ainsi, en cas de besoin, être doublée sans augmentation de dépenses.

Enfin, on doit faire observer que, grâce à la disposition du faisceau de triage accolé aux voies principales, avec la même pente qu'elles, les wagons parcourent 2 kilomètres à Terrenoire pendant l'opération du triage et que ce par-

(*) Comme nous l'avons fait observer plus haut, la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée a décidé qu'elle ne ferait plus construire de wagons sans freins. Mais il lui reste encore à faire adapter des freins à un grand nombre d'anciens wagons.

cours utile devrait être estimé et déduit de la dépense de triage proprement dite, si l'on voulait être rigoureusement exact.

Comparaison avec les opérations de triages faites en Allemagne. — Il a paru intéressant de comparer les relevés des opérations faites sur les deux systèmes de gares de triage de la compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée avec les résultats dans les gares analogues de l'Allemagne.

Les tableaux ci-après résument les diverses données qui, dans les deux cas, paraissent comparables.

A. — Triages par voies horizontales.

	PRIX DE REVIENT par tranche manœuvrée. (machines ou chevaux)	PRIX DE REVIENT par wagon trié.	DURÉE de manœuvre d'un wagon.
Gares P.-L.-M. . .	0f,539	0f,2729	1'66"
Gares allemandes.	0f,72	0f,345	2'50"

B. — Triages par la gravité.

	PRIX DE REVIENT par tranche manœuvrée.	PRIX DE REVIENT par wagon trié.	DURÉE de manœuvre d'un wagon.
Gares P.-L.-M. . .	0f,215	0f,167 (*)	53"
Gares allemandes.	0f,324	0f,142	36"

Ces tableaux montrent que dans les gares horizontales

(*) Le prix de 0f,167 comprend les dépenses nécessaires pour la formation des trains par la réunion des divers lots qui doivent le composer. Cette manœuvre ne paraît pas comprise dans les chiffres qui figurent au rapport de la commission allemande dont nous avons donné un extrait. On a vu plus haut qu'à Terrenoire le triage proprement dit ne coûte que 0f,127 par wagon.

l'emploi des plaques tournantes donne des résultats aussi rapides et plus économiques que ceux qu'obtiennent les Allemands avec le triage exclusif à la machine. Mais nous rappellerons que les chariots à vapeur doivent permettre de réaliser encore une économie dans les gares de triage horizontales.

Pour les voies en pente, le système allemand paraît l'emporter comme rapidité sur la gare de Terrenoire. Cela provient sans doute de la manœuvre imparfaite des freins à Terrenoire, des précautions spéciales que nécessite l'admission forcée de nombreux wagons sans freins dans des opérations par la gravité sur 2 kilomètres de pente de $0^m,014$, et aussi de ce que ce faisceau ne produit pas tout le travail qu'il pourrait donner sans augmentation sensible de dépenses.

Dans tous les cas, la manœuvre proprement dite d'une tranche de wagons y coûte moins cher qu'en Allemagne, sauf peut-être à Zwickau et à Dresde.

Étant donnés les instruments mis à la disposition du service de l'exploitation de la compagnie P.-L.-M., ce service en tire donc un meilleur parti qu'on ne le fait en Allemagne dans les mêmes conditions.

IV. — CONCLUSION.

En résumant les enseignements que nous donne l'examen des divers systèmes de voies de triage en France et en Allemagne, nous pouvons dire que le plus économique est celui qui permet l'introduction des trains par une aiguille en pointe sur une voie de tiroir en pente de $0^m,008$ à $0^m,012$, de manière à opérer le triage par la gravité, comme cela se fait à Terrenoire. Cette installation serait utilement complétée par l'adjonction d'un chariot à vapeur au milieu du faisceau.

Si les wagons sont pourvus de freins convenables, on peut estimer la dépense de triage par wagon de $0^f,14$ à $0^f,16$ environ, même quand il n'y a eu aucun triage préalable.

Avec tous les wagons pourvus de freins commodes, la dépense à Terrenoire descendrait probablement au-dessous de ces chiffres.

Si les circonstances locales ne permettent pas d'établir le tiroir et une partie au moins du faisceau en pente, il faut opérer le triage au moyen de manœuvres par machines aidées par des batteries de plaques tournantes, ou mieux encore par des chariots à vapeur. Dans ce cas, le prix de revient du triage sera respectivement de $0^f,20$ à $0^f,22$ par wagon, si l'on a soin d'introduire les trains par une aiguille en pointe, sinon elle s'élèvera de $0^f,24$ à $0^f,26$ par wagon (*).

Lyon, le 25 janvier 1876.

(*) Nous avons eu occasion, depuis la rédaction de cette note, de visiter la gare de triage de Lausanne (chemin de fer de la Suisse occidentale). On y a appliqué très-heureusement les principes dont nous avons donné l'énoncé ci-dessus.

Le tiroir est en pente de 0,010. L'entrée des trains se fait par une aiguille en pointe du côté opposé. Enfin un chariot à vapeur remplace les batteries de plaques tournantes au milieu du faisceau. Cette installation, fort bien entendue, est toute récente, de sorte qu'on n'a pu nous renseigner d'une manière précise ni sur la durée ni sur le prix de revient des diverses opérations.

Lyon, le 15 octobre 1876.

N° 53

BARRAGE DE MÉRIENNE, SUR LA CHARENTE.

NOTE

Par M. ALEXANDRE, ingénieur des ponts et chaussées.

En exécution de l'article 5 du décret réglementaire de la retenue de Jarnac, en date du 23 juillet 1874, le service de la navigation de la Charente, placé sous la direction de M. l'ingénieur en chef Levert, a dû construire à Mérienne, sur le bras secondaire dit le Charenton, un barrage mobile destiné à envoyer dans le cours principal pendant l'été les eaux qui s'écoulent par ce bras au détriment de la navigation et des usines.

Le Charenton n'étant pas navigable, le système de barrage mobile le plus économique, un simple vannage, pouvait être adopté.

Mais cette solution présentait une assez sérieuse difficulté résultant de la différence de niveau (environ 3^m,25) existant entre l'étiage et les plus hautes eaux.

Pour permettre d'élever le dessous des vannes au-dessus des crues (disposition nécessaire surtout au point de vue de la stabilité de l'ouvrage), on était conduit à donner aux fermes portant les coulisseaux près de 5 mètres de hauteur et à la plate-forme servant de seuil un empatement proportionné.

L'accès de la passerelle de service eût été difficile, la longueur des crémaillères exagérée, la solidité de l'ensem-

ble douteuse, l'aspect peu satisfaisant et le montant des dépenses relativement considérable.

Nous avions pensé qu'on pouvait éviter ces inconvénients en disposant la passerelle de service au niveau même des berges de la rivière et en rabattant sur cette passerelle, après l'avoir relevée, une vannage construit d'une manière spéciale en vue de ce rabattement.

M. le conducteur Février, chargé d'étudier les détails du projet, imagina une autre combinaison de beaucoup préférable, consistant à articuler le point d'attache de la crémaillère avec la vanne et à supprimer la joue aval des coulisseaux à partir d'une certaine hauteur au-dessus de la retenue, de manière que chaque vanne, une fois levée, puisse s'incliner sous la pression de l'eau, s'effacer même complétement en flottant à la surface pendant les crues, puis revenir par son propre poids dans sa position normale une fois la crue passée.

Cette disposition est tellement simple que l'on est surpris de ne pas la voir depuis longtemps employée, notamment aux vannages de décharge des usines, où elle rendrait de grands services.

Appliquée au barrage de Mérienne, construit en 1874-1875 conformément au projet approuvé par le conseil général des ponts et chaussées, elle a donné d'excellents résultats, ainsi que nous l'avons constaté pendant les dernières crues.

Le barrage dont il s'agit ne présente d'ailleurs aucune autre particularité méritant d'être signalée, si ce n'est peut-être un prix de revient des plus réduits.

Aussi nous bornons-nous à en donner ci-dessous une description très-sommaire (Pl. 24, *fig.* 2 à 11).

L'ouverture libre totale (23 mètres) a été divisée en trois pertuis, ceux de rive comprenant six et celui du milieu sept vannes; l'écartement des fermes atteint $1^{m},22$ d'axe en axe.

Le seuil, établi au niveau de l'étiage ordinaire, est formé

par une plate-bande en pierre de taille de 2 mètres de largeur et de $0^m,45$ d'épaisseur. Elle repose sur un grillage qui est fixé à deux files de pilotis enfoncés dans un gravier résistant et se prolonge sans solution de continuité sous les piles et culées.

Les pilotis sont noyés dans un massif d'enrochements (*) et les cases comprises entre les longrines et les traversines remplies de béton.

La plate-bande est engagée dans le grillage à l'aide de redans, de manière à ne pouvoir glisser horizontalement, et reliée à la longrine d'amont à l'aide de vis à bois, afin de ne pouvoir tourner autour de la longrine d'aval par l'effet de la pression de l'eau sur le vannage.

En outre, les joints sont taillés en forme de chevrons et bien garnis de ciment, ce qui donne aux diverses pièces de la plate-bande une solidarité complète et empêche les mouvements horizontaux d'une pierre par rapport à ses voisines; quant aux mouvements verticaux, ils sont également rendus impossibles grâce à la précaution qui a été prise de faire quelques entailles à coups de têtu dans les faces des joints; on a formé ainsi des sortes de poches qui se sont remplies de ciment et ont produit (une fois le ciment durci) l'effet des clefs en chêne que l'on emploie quelques fois pour relier les pierres de taille entre elles.

Les fermes entre lesquelles se meuvent les vannes sont des bâtis en fonte venus d'une seule pièce avec les consoles qui supportent la passerelle.

Ces fermes sont encastrées dans la plate-bande de toute l'épaisseur de leur semelle (2 centimètres) et fixées à l'aide de six boulons scellés au ciment.

(*) Les barrages de la Charente sont généralement construits à pierres sèches et s'étanchent rapidement par l'apport des sables et graviers. Dans l'espèce, le défaut d'étanchéité ne présente aucun inconvénient eu égard à la nécessité de maintenir un courant d'une certaine importance dans le bras intercepté.

Elles sont réunies à leur partie supérieure par des traverses en fonte portant des boîtes d'engrenages rectangulaires en tôle. Ces boîtes proviennent des écluses abandonnées de la haute Charente ; il a suffi pour les utiliser d'allonger les crémaillères en fer dont elles étaient munies et de les compléter par l'addition d'un encliquetage.

Les vannes ont 1m.19 de largeur sur 1m.35 de hauteur ; elles sont formées de madriers de chêne de 0m.05 placés horizontalement et reliés par deux traverses verticales.

La chute normale du barrage par les basses eaux ordinaires est de 1m.35 ; elle atteint 1m.60 par les étiages exceptionnels.

Les frais de construction ont été les suivants :

Infrastructure	Fondations (Pieux, grillages). . . .		2.432 15
	Maçonnerie.	Béton, enrochement, plate-bande, piles et culées. . . .	5.124 40
Superstructure	Fonte (un bâti coulé d'une seule pièce pèse 300 kil.).		4.095 08
	Fer (y compris appropriation des crics appartenant à l'administration)..		1.407 88
	Bois de chêne.		677 54
Dépenses en régie	Terrassements, petits batardeaux partiels, indemnités de terrains, divers.		1.151 67
	Total.		14.888 72

(La maçonnerie de pierre de taille a été payée suivant la sujétion de 36f,70 à 48f,10 le mètre cube ; — le mètre carré de parement vu de 3f,60 à 6 francs ; — le béton 19f,50 le mètre cube ; — la fonte ajustée, mise en place, 0f,56 le kilogramme.)

Le débouché total de l'ouvrage étant 21m.82, déduction faite de l'épaisseur des fermes, le mètre linéaire d'ouverture libre a coûté 683 francs.

Si l'on tient compte de ce que l'administration avait les

crics en magasin, le prix de revient ressort à 700 francs environ.

Les fondations et la pose du seuil, favorisée par un étiage exceptionnel, ont pu être achevée en trois mois (septembre, octobre et novembre 1874).

La partie métallique a été mise en place en moins d'un mois (septembre 1875).

Le barrage fonctionne depuis le mois d'octobre de l'année dernière.

Angoulême, le 12 mai 1876.

N° 54

ÉLARGISSEMENT DES ANCIENS PONTS
PAR ENCORBELLEMENT

PONTS DE SEURRE ET DE CLERVAL.

NOTE

Par M. VERNIS, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Il s'agit uniquement dans cette note de travaux paraissant présenter quelques avantages au point de vue de l'économie et de la célérité, et qui ont permis, par conséquent, d'obtenir des améliorations importantes pour la circulation, sans les acheter au prix d'une longue attente ou de dépenses trop considérables.

Il y a encore en France un grand nombre d'anciens ponts, de construction solide, mais de largeur insuffisante, qui pourraient, à peu de frais, être mis en rapport avec les besoins d'une circulation croissante. Les populations intéressées attendront longtemps ces améliorations, s'il faut reconstruire complétement tous ces ouvrages.

Là est tout l'intérêt du système des élargissements par encorbellement, qui, du reste, a été pratiqué depuis longtemps pour des ouvrages très-importants, pour le pont Neuf, par exemple.

Je ne cite donc le pont de Seurre et le pont de Clerval que comme deux exemples de ce genre d'ouvrages qui paraissent satisfaisants.

I.

PONT DE SEURRE, SUR LA SAÔNE.

La route nationale n° 73, de Moulins à Bâle, traverse la Saône dans le département de la Côte-d'Or, à l'entrée de la ville de Seurre, sur un pont qui était formé, au commencement de 1867, de deux culées, de cinq piles en maçonnerie, et de quatre palées en bois supportant un tablier en charpente et en dix travées, recouvert d'une chaussée en macadam.

Dans la nuit du 20 au 21 avril 1867, la palée la plus voisine de la rive gauche et de la ville s'est rompue entre deux et trois heures du matin, et les deux travées qu'elle supportait se sont affaissées dans la rivière, obstruant complétement le passage de la navigation à vapeur; la première travée restée libre entre la culée gauche et la première pile en pierre ne permettait plus que le passage des bateaux halés.

Les derniers recensements faits en 1863-1864 accusent, sur le pont de Seurre, une circulation moyenne de 400 colliers, qui s'élève à plus de 900 les jours de foire ou de gros marchés; d'un autre côté, la navigation de la Saône est assez active; enfin la population de Seurre est essentiellement marinière; la rivière occupe les bras et alimente le commerce local; de plus elle sépare la ville du chemin de fer de Paris à la Méditerranée; c'est dire toute la gravité de l'accident qui privait une population industrieuse et active de ses communications les plus importantes et entravait en même temps sa principale industrie.

La reconstruction du pont de Seurre se compliquait donc d'une question de célérité qui, en réalité, primait toute autre considération.

La solution naturelle parut être, dès le premier moment, l'établissement d'un tablier métallique, en treillis, sur les

maçonneries, et la suppression définitive du système mixte qui avait prévalu jusqu'alors, dans les palées en charpente alternant, pour les quatre grandes travées, avec les piles en pierres. Un tablier métallique à poutres droites avait pour lui les avantages de la célérité; il pouvait seul donner satisfaction aux besoins du service de la navigation qui exigeait, sous poutres, une hauteur de $7^{m},925$ au-dessus de l'étiage; il permettait de rétablir la circulation dans le courant de la campagne et, par conséquent, d'économiser les frais d'un pont de service, qui eussent été considérables; des bacs pouvaient suffire à titre provisoire.

Une difficulté sérieuse se présenta tout d'abord dans la rédaction du projet. Les piles conservées ne présentaient, dans le sens normal à l'axe du pont, que $6^{m},30$ de longueur; les poutres de rive devaient avoir $0^{m},50$ de largeur, et l'on ne pouvait guère les placer à moins de $0^{m},15$ du parement sans amener des ruptures dans les maçonneries, sous l'énorme charge qu'elles auraient à supporter. Il ne restait donc plus que 5 mètres de largeur libre : c'était tout à fait insuffisant.

Dépenser 300.000 francs, pour livrer à une circulation de 400 colliers, sur une route nationale, une largeur utile de 5 mètres, à la porte d'une ville, était à mes yeux une opération incomplète, qui devait soulever de justes clameurs.

Les piles étaient accompagnées à l'amont d'avant-becs triangulaires qui permettaient à la rigueur un léger élargissement; mais les arrière-becs manquaient à l'aval; il n'y avait là aucune base suffisante pour édifier, dans des conditions régulières et symétriques, un aussi important ouvrage.

S'il eût été possible de placer la chaussée au-dessus des poutres de rive, la solution était simple et facile ; des poutrelles transversales dépassant les poutres longitudinales pouvaient porter la chaussée avec ses trottoirs en surplomb

sur les maçonneries. Mais la hauteur libre exigée par le service de navigation, d'une part, et la raideur des pentes aux abords du pont, de l'autre, nous laissaient si peu de marge que nous ne pouvions même trouver la hauteur nécessaire pour loger l'épaisseur du tablier à la partie inférieure des poutres, qu'en diminuant progressivement l'épaisseur des poutrelles vers les rives, et en prolongeant la pente sur le tablier même pour regagner une dizaine de centimètres que nous n'avons pu obtenir de la navigation, et affleurer au moins le quai de la rive gauche, traversé par la route nationale n° 73.

J'eus alors l'idée de poser sur les maçonneries, perpendiculairement à la direction du pont, des poutrelles métalliques, dépassant la longueur des piles, de manière à obtenir, pour la voie, une largeur de 7 mètres.

C'était un minimum d'autant plus nécessaire que les rives de la Saône sont couvertes de prairies immenses qui donnent lieu à de grands transports de fourrages, soit au moment de la récolte, soit dans le cours de l'année, et que les chars employés à ces transports reçoivent des chargements très-volumineux.

L'idée de poser sur les encorbellements, en surplomb sur les points d'appui, un tablier qui devait peser environ 450,000 kilogrammes, pouvait paraître hardie au premier abord, mais elle n'avait au fond rien que de très-logique : la théorie de la résistance des constructions métalliques, l'expérience des grands ouvrages construits, comme le pont tournant de Brest, la méthode de lancement des grands ponts à poutres droites, tout enfin justifiait une disposition qui n'avait contre elle que la nouveauté de son application.

Nous avions supposé d'abord que les poutrelles portant le tablier feraient corps avec les poutres de rives et feraient entretoises au-dessus des piles. Cette disposition réalisait une économie d'environ 10.000 francs. Mais la forme de ces pièces n'avait pas été suffisamment étudiée pour l'œil ;

elle n'était pas heureuse au point de vue de l'effet produit sur les plans, et elle ne fut pas admise par le conseil; une autre disposition que je présentais comme variante fut adoptée; elle consistait à séparer les poutrelles-supports du tablier, à les poser sur les maçonneries et à leur faire porter les chariots de dilatation sur lesquels devaient reposer les poutres, tandis que, dans le premier système, les chariots étaient placés sur la maçonnerie et portaient toute la construction, même les poutrelles-supports.

Les travaux ont été poussés avec la plus grande activité, tant par l'usine du Creusot, pour la partie métallique, que par l'ingénieur de l'arrondissement, M. Coffin, pour les maçonneries.

C'est ainsi que, malgré les rigueurs de l'hiver arrivées avec le mois de novembre, le pont de Seurre a pu être livré à la circulation le 10 décembre, sept mois et demi après sa chute.

Je ne crois pas nécessaire d'entrer dans de bien longs détails sur le système adopté pour le tablier du pont de Seurre.

Deux poutres longitudinales en treillis de $2^m,32$ de hauteur, reliées à leur partie inférieure par des poutrelles en tôle et cornière, forment la charpente de l'ouvrage (Pl. 25, *fig* 1, 2 et 3).

Le plancher se compose de tôles embouties à quatre pans formant voûtes d'arête, portées par les poutrelles et par des longrines composant avec elle une sorte de damier.

Les tôles embouties sont recouvertes d'une couche de béton de ciment revêtu d'un chemise d'asphalte réglée parallèlement à la surface de la chaussée dont elle forme l'encaissement.

La chaussée est simplement composée de cailloux et de matières d'agrégation mélangées et employées à l'état de béton.

Les bordures des trottoirs sont en pierre de taille posée sur béton ; en arrière de ces bordures, le relief du trottoir, accusé par la carcasse métallique, se dessine au moyen d'un remplissage en béton recouvert d'une couche d'asphalte. Au pied des bordures règnent deux rigoles pavées posées sur béton, ayant chacune 50 centimètres de largeur.

Ces rigoles, traversées de 10 en 10 mètres par des gargouilles en fonte, présentent, d'une gargouille à l'autre, une série de pentes et de contre-pentes qui assurent l'écoulement des eaux.

La chaussée a une largeur de.	5^{m},50
Les deux trottoirs.	1^{m},50
La voie entière.	7^{m},00
Les poutres de rive ayant chacune 0^{m},50 d'épaisseur, soit ensemble.	1^{m},00
La largeur totale du tablier est de.	8^{m},00
La longueur des piles n'était que de.	6^{m},30
Il fallait obtenir un élargissement de.	1^{m},70

sans toucher aux maçonneries, sous peine de compromettre la rapidité de l'exécution et l'achèvement du pont dans la campagne de 1867.

Cet élargissement a été obtenu par l'emploi de poutrelles-supports posées au nombre de trois sur chaque pile.

Ces poutrelles ont 8^{m},23 de longueur et 0^{m},50 de hauteur (Pl. 25, *fig.* 1, 2 et 3). Elles sont rendues solidaires par quatre cours d'entretoises en tôle (A) placés, deux à l'aplomb des poutres de rive, et deux à l'aplomb du point d'appui sur les maçonneries, à 0^{m},80 des premières.

En outre, deux autres cours d'entretoises en fonte (B) (Pl. 25, *fig.* 2, 3 et 8) renflées en leur milieu, de manière à former un manchon cylindrique, reçoivent un boulon de serrage scellé dans la maçonnerie, destiné à fixer les poutrelles-supports sur les piles et à produire des points d'encastrement qui augmentent la résistance.

Ces boulons sont de deux sortes. Le modèle de la *fig.* 7 est tout simplement scellé au plomb dans la maçonnerie percée à cet effet après l'exécution. Ce système n'a été employé que pour une seule pile, qui était achevée lorsque la décision approbative du projet a été rendue.

Le modèle de la *fig.* 6 porte à sa partie inférieure une tête et une plaque d'arrêt arc-boutées sur la taille dans une chambre ménagée avant la pose. Les deux systèmes ont également bien résisté.

Ce système d'amarrage n'a pas suffi. Entre les deux cours d'entretoises B écartées d'axe en axe de $4^{m},50$, les poutrelles, calculées à 6 kilog. par millimètre carré, fléchissaient et se relevaient notablement au milieu, de façon que la charge se reportait pour la majeure partie sur l'arête extrême des piles.

Après l'achèvement de l'ouvrage, nous avons remis le tablier sur verrins, en opérant successivement sur chaque travée.

Toutes les poutrelles sont revenues exactement à la forme rectiligne, ce qui prouve que la limite d'élasticité n'avait pas été atteinte.

Nous avons alors placé entre les entretoises et dans l'axe du pont de nouveaux boulons de scellement C (Pl. 25, *fig.* 2, 3 et 4), qui ont rendu la flèche à peu près nulle.

En somme, il résulte pour moi de cette première application que le système qui consiste à sceller les poutrelles dans la maçonnerie, pour augmenter leur résistance, est une solution médiocre, les points de scellement devant être très-multipliés pour éviter les flexions partielles qui se produisent entre les points fixes.

La seule solution vraie, complète, c'est de calculer les poutrelles de manière à rendre la flèche peu sensible; de calculer cette flèche à l'avance très-exactement et de donner aux poutrelles-supports formant le système d'encorbellement une contre-courbure équivalente, de façon que les

poutrelles se dressent sous la charge et s'étalent à peu près exactement sur les maçonneries dans toute leur longueur.

Le système d'encorbellement ne doit en effet s'appliquer qu'à d'anciennes piles conservées. Or le scellement, pour être efficace, doit se faire à une assez grande profondeur variable avec la charge; il résulte de là que, dans certains cas, le percement des trous pour les boulons d'amarrage présenterait une grande difficulté et serait une cause de dislocation pour les maçonneries.

Pour raccorder la partie saillante des poutrelles-supports avec le parement vertical des piles, j'ai fait couler des consoles en fonte d'un aspect robuste, en harmonie avec la construction, qui produisent le meilleur effet (Pl. 25, *fig.* 1).

Mais ces consoles, purement décoratives, ne travaillent pas. Le parement des piles a été entaillé légèrement en arrière pour laisser du jeu entre les consoles et la maçonnerie, sans que le contact cessât de paraître complet à l'extérieur.

La longueur totale du tablier est de.	154^m,96
se décomposant ainsi :	
Ouverture totale des six travées :	
16,15 + 30,33 + 28,80 + 28,24 + 21,83 + 13,94 =	139^m,29
Largeur des cinq piles (en moyenne 2^m,51). . .	12^m,55
Appuis sur les deux culées.	3^m,12
Total égal.	154^m,96
Les dépenses se sont élevées à.	300.168^f,94
1° Travaux provisoires. — Établissement des rampes et de deux bacs, entretien et exploitation de ces bacs pendant sept mois et vingt jours, éclairage et surveillance, etc.	19 051^f,93
2° Démolition et dépenses diverses.	6.000 ,00
3° Maçonneries, réfection des têtes des piles et des culées.	12.307 ,70
A reporter.	37.359^f,63

Report.		37.359f,63
4° Tablier métallique :		
Système d'encorbellement. . .	28.499f,35	251.829,07
Tablier proprement dit, avec plancher en tôle emboutie. .	223.329,72	
Chaussée avec trottoirs, posée sur béton, avec chape en asphalte.		10.890,24
Total égal.		300.078f,94

La largeur utile du tablier étant de 7 mètres et sa longueur de $154^m,96$, la surface est de $1.084^{mc},72$, le mètre carré de chaussée coûte donc $\frac{10890,24}{1084,72}$ = ... 10f,04

Le prix de la construction métallique entière revient, par mètre superficiel, à $\frac{251829,07+10890,24}{1084,72} = 241^f,33$.

II.

PONT DE CLERVAL, SUR LE DOUBS.

Après la guerre, la plupart des ponts du département du Doubs étaient détruits en partie, soit par le fait de l'ennemi, soit par nous.

Quelques-uns remontaient à une époque déjà reculée : sur les routes départementales, ceux de Montbéliard et de Voujaucourt, dont la construction peut être attribuée au commencement du XVIe siècle ; sur les routes nationales, ceux de Clerval, l'Isle sur le Dourbs et Pont-de-Roide dataient, le premier de la même époque, et les deux derniers de 1260 à 1300.

D'une largeur insuffisante, d'une construction lourde et massive, mais solide, les ponts de Montbéliard, Voujaucourt et Clerval pouvaient facilement et très-économiquement être réparés et élargis par encorbellement, de ma-

nière à présenter une voie suffisante pour la circulation assez restreinte qu'ils sont appelés à desservir.

Au pont de Montbéliard, composé de dix arches ou travées formant une longueur totale de 105 mètres, deux travées en bois et une arche de 9 mètres obstruée par des atterrissements et par un déplacement de la rive droite, ont été remplacées par trois arches en pierre, et la largeur de la voie portée de 6^{m},80 à 7^{m},40, dont 2^{m},40 pour les trottoirs, moyennant une dépense de 24.000 francs.

La reconstruction du pont n'eût pas coûté moins de 150.000 francs avec les abords.

Le pont de Voujaucourt, dont quatre arches sur six étaient détruites, formant une brèche de 50 mètres de longueur sur 6^{m},60 de hauteur, a été reconstruit en utilisant les deux arches conservées, et la voie portée de 4^{m},96 à 6^{m},70, dont 4^{m},90 de chaussée et 1^{m},80 pour les trottoirs; la dépense s'est élevée à la somme de 40.000 francs.

La reconstruction entière de l'ouvrage était évaluée à 100.000 francs.

Le pont de Clerval est l'exemple le plus frappant des résultats que l'on peut obtenir dans ce genre de travaux modestes et économiques.

La largeur entre parapets n'était que de 4^{m},36.

Avant la guerre, on avait préparé plusieurs projets d'élargissement, dont le moins coûteux s'élevait à 90.000 francs.

Ils consistaient dans la construction d'un deuxième pont accolé au premier, de manière à porter la voie charretière, y compris trottoirs, à 8^{m}.30.

Pendant la guerre, deux arches ayant ensemble 23^{m},20 d'ouverture et séparées par une pile de 3^{m},80 ont été détruites par la mine.

La pile était disloquée jusqu'au banc de marnes dures sur lequel elle était fondée, et la hauteur des eaux moyennes, était de 4 mètres au-dessus du plan inférieur des fondations.

Le pont a été reconstruit et la voie élargie par encorbellement, de manière à obtenir une chaussée de $4^m,70$ et deux trottoirs de $0^m,80$, augmentés de distance en distance par des gares ménagées à l'amont sur la saillie des avant-becs, moyennant une dépense totale de. 54.426f,26

dans laquelle la reconstruction des arches figure pour.	30.626f,26
et l'élargissement pour.	23.800 ,00
En comparant la dépense à faire pour l'élargissement d'après les projets primitifs, ci.	90.000 ,00
A celle qu'a exigée l'élargissement par encorbellement.	23.800 ,00
On voit qu'il a été fait une économie de. . .	66.200f,00

soit 74 p. 100.

Il est vrai que la largeur obtenue est moindre.

Ainsi l'élargissement résultant de la juxtaposition d'un second pont à l'ancien était de $3^m,94$, qui, sur une longueur de 91 mètres, formait une surface de $358^{mq},54$, de sorte que le prix par mètre carré était de $\frac{90.000}{358,54} = 251$ fr.

L'élargissement exécuté présente une surface de $1.60 \times 91 = 145^{mq},60$, dont le prix par mètre superficiel est de $\frac{23.800}{145,60} = 163$ francs.

La circulation sur le pont de Clerval ne dépasse pas 100 colliers.

Le résultat obtenu est donc très-suffisant.

Quant à l'effet produit, bien que les formes pesantes de la construction se prêtent mal à toute espèce de décoration, on s'accorde à dire que la solution est aussi convenable pour l'œil que pour la circulation.

L'encorbellement se compose (Pl. 25, *fig.* 12) d'une assise de $0^m,50$ de hauteur, formant une corniche coupée de distance en distance par des consoles de même hauteur (*fig.* 10 et 11). Sur ces consoles repose un modillon ayant

en tête 0^{m},30 de largeur sur 0^{m},20 de hauteur et 0^{m},35 de longueur.

Une dalle de 0^{m},15 d'épaisseur, portant sur les modillons et sur la bordure de trottoirs entaillée en biseau, reçoit le garde-corps en fer.

La bordure de trottoir porte sur la corniche et sur les consoles. Les pierres formant corniches ont 1^{m},25 de longueur totale, dont 1^{m},25 de saillie seulement en surplomb de la tête du pont, les consoles ont 1^{m},65 de longueur totale et 0^{m},65 de saillie.

Grâce à l'évidement des moulures, la partie en encorbellement est très-légère et les conditions d'équilibre très-larges, même en supposant le trottoir occupé par une file d'hommes serrés coude à coude, à raison de deux par mètre courant.

En même temps que le pont de Clerval était restauré, ceux de Pont-de-Roide et de l'Isle-sur-le-Doubs étaient complétement reconstruits; tous deux ont été fondés sur le rocher à une profondeur variable au-dessous du niveau des basses eaux, qui n'a pas dépassé 2 mètres.

Il peut être utile de connaître la dépense faite pour chacun d'eux.

Le pont de Pont-de-Roide ayant 59 mètres de débouché linéaire, 72^{m},50 de longueur entre les murs de quai, 8 mètres de largeur entre les têtes et 8 mètres de hauteur, a coûté 80.927^{f},90.

Le pont de l'Isle, dont le débouché est de 72^{m},50, la longueur de 84^{m},55, la largeur entre les têtes de 7^{m},80, la hauteur maxima de 7^{m},50, a coûté 105.603^{f},80.

Besançon, le 3 mars 1876.

N° 55

NOTE

SUR

UNE POMPE, DITE A COLONNE D'EAU OSCILLANTE,

MUE PAR L'ACTION DIRECTE DE LA VAPEUR,

Par M. BRETONNIÈRE, conducteur des ponts et chaussées
à Philippeville (Algérie).

Idée générale du système de pompe. — Que l'on conçoive un tuyau vertical plein d'eau, plongeant dans un bassin à épuiser, et muni, à chacune de ses extrémités, d'une soupape s'ouvrant de bas en haut. Supposons, de plus, qu'une certaine quantité de vapeur soit d'abord introduite dans ce tube sous la protection d'une enveloppe flexible en caoutchouc empêchant la condensation, puis mise, dans le même milieu, en contact direct avec l'eau froide. Dans ces conditions, le tuyau vertical avec ses accessoires devient une pompe, une certaine quantité d'eau étant expulsée par la soupape supérieure au moment où la vapeur est admise, et une égale quantité étant aspirée par la soupape inférieure quand la vapeur se condense.

Le jeu de cette pompe comprendra, pour chaque évacuation d'eau, deux mouvements ou oscillations dans chacune desquelles une colonne d'eau, à l'imitation du pendule, recevra d'abord une certaine quantité de force qu'elle rendra ensuite. Cette dernière action sera utilisée à produire un travail de détente et à assurer, par son effort sur les organes, la continuité de la marche.

Description de la pompe réalisée. — La mise en pratique de l'idée générale indiquée ci-dessus a conduit à un appareil en fonte que représente le dessin ci-joint à l'échelle de $\frac{1}{20}$ (Pl. 25, *fig.* 13). Plusieurs organes ont été placés en dehors du tuyau principal, et trois petits clapets, destinés à assurer la distribution de la vapeur, ont été ajoutés aux pièces mobiles désignées plus haut, c'est-à-dire aux deux soupapes et à l'enveloppe en caoutchouc. Le reste de la machine se compose de pièces fixes, par conséquent peu susceptibles de dérangement ou d'usure.

La pompe comprend un tuyau principal BM plongeant dans le bassin dont l'eau est à élever et débouchant dans une bâche ou un réservoir quelconque. A la partie inférieure de ce tube est une soupape de retenue S; à sa partie supérieure, une soupape S′ empêchant le retour de l'eau élevée. Il peut y avoir, entre la soupape S′ et la bâche, un tube de refoulement d'une certaine longueur, avec ou sans réserve d'air. Sur un côté du tuyau BM s'amorce un autre tuyau de même diamètre conduisant à un espace limité par deux coquilles en fonte entre les collerettes desquelles est fixé le pourtour d'un diaphragme DD, formé d'une toile enduite de caoutchouc sur ses deux faces. A la partie centrale de ce diaphragme, destiné à aller s'appliquer, tantôt contre la paroi de la coquille inférieure, tantôt contre la paroi de la coquille supérieure, est fixé un plateau formé de deux plaques de métal. Quand la machine est à l'état de repos, ou du moins quand la toile du diaphragme ne soulève pas le plateau central, celui-ci, agissant par son poids sur l'extrémité de la tige d'une petite soupape *s*, qu'un ressort-boudin tend à tenir fixée sur son siége, force cette petite soupape à rester ouverte. Cette soupape *s* règle l'admission de la vapeur. C'est, si l'on veut, le tiroir de la machine, tiroir s'ouvrant brusquement et se refermant de même. La vapeur, une fois admise, pénètre dans l'espace compris entre les coquilles par

un certain nombre de trous pratiqués sur une circonférence ayant le même centre que la coquille inférieure et placés en dehors du cercle couvert par le plateau central. Les formes des coquilles, du plateau métallique et du diaphragme sont telles que la partie flexible de ce dernier puisse, sous l'action de la vapeur, se soulever et prendre la position indiquée par le trait ponctué, tandis que, par son propre poids, le plateau central reste en place. La petite soupape *s'*, destinée à intercepter, à certains moments, le passage dans le tube *ttt*, porte à la partie supérieure de sa tige un petit diaphragme *dd* que maintient une bride. Au besoin un ressort *l*, formé d'une lame d'acier fixée par deux rivets à la bride dont il vient d'être question, agira sur l'extrémité de la soupape *s'*, pour concourir, avec la pression atmosphérique, à vaincre la pression intérieure. Une troisième petite soupape *s''* est placée sur l'extrémité du tube *ttt*. Elle est destinée à empêcher l'eau d'entrer dans ce tube, duquel elle laisse échapper la vapeur. Un repurgeur *r*, formé d'une petite soupape fixée à un levier et qu'un contre-poids doit, dans l'état ordinaire de la machine, maintenir fermé, servira à laisser échapper, quand besoin sera, l'eau qui se serait accumulée dans l'espace E. Enfin un robinet R complète l'appareil. Il doit servir à amorcer la pompe avant la mise en marche.

Fonctionnement de la pompe. — Supposons que la pompe soit amorcée et que l'on vienne d'ouvrir le robinet de prise de vapeur. Le gaz trouve ouvertes les deux soupapes *s* et *s'*. Il fermera brusquement celle-ci, et, soulevant la partie flexible du diaphragme DD, chassera l'eau par la soupape S'. Quand la partie flexible du diaphragme aura pris la position figurée en ponctué dans le dessin, c'est-à-dire se sera tendue, elle soulèvera le plateau central. La petite soupape *s*, débarrassée du poids de celui-ci et sollicitée par le ressort-boudin qui agit sur le bouton fixé à son

extrémité, se fermera et arrêtera ainsi toute admission nouvelle de vapeur. Le gaz compris entre les coquilles continuera néanmoins, par sa détente, à chasser l'eau, la colonne liquide en mouvement faisant l'office de volant, jusqu'à ce que sa pression soit devenue inférieure à la pression atmosphérique aidée du ressort. A ce moment, la soupape s' s'ouvrira, donnant passage à la vapeur. Celle-ci soulèvera la soupape s'' pour pénétrer dans la partie supérieure du tube BM où elle se condensera. La vapeur qui s'échappe de l'espace compris entre les coquilles pour aller se condenser est, au fur et à mesure, remplacée dans cet espace, d'abord par l'eau qui occupait la partie supérieure du tube BM, puis par une certaine quantité d'eau élevée par aspiration. Le plateau central vient se reposer sur l'extrémité de la tige de la soupape s; la partie flexible du diaphragme vient elle-même s'appliquer sur la paroi de la coquille inférieure; enfin, quand la hauteur de la colonne d'eau qui s'élève par aspiration dans le tube BM est devenue suffisante pour vaincre, par son action sur le plateau central, la pression de la vapeur sur la surface de la soupape s', celle-ci s'ouvre brusquement, et la série de mouvements qui vient d'être décrite recommence pour se reproduire indéfiniment.

Renseignements fournis par l'expérience. — Le modèle réalisé, et qui est employé à l'irrigation d'une pépinière près Philippeville, a $0^{m}10$ de diamètre intérieur pour le tuyau BM. La capacité des coquilles est de 10 litres environ. Le débit varie suivant la pression du générateur, la profondeur d'aspiration et la hauteur de refoulement. Il est de 400 litres à la minute quand l'eau est à élever d'une hauteur de 6 mètres. L'aspiration a été poussée jusqu'à 8 mètres. Le refoulement essayé n'a été que de 5 mètres; mais on espère qu'il pourra atteindre jusqu'à 20 mètres et même 30 mètres. La pression à la chaudière a varié entre

$0^{atm},50$ et $2^{atm},50$. Le diaphragme est formé d'une plaque de caoutchouc de 3 millimètres d'épaisseur avec insertion de toile. La machine est trop nouvelle pour que l'on ait pu acquérir une idée suffisante de la durée de cet organe. On croit, toutefois, qu'il durera plusieurs mois. Rien n'est plus simple, d'ailleurs, que son remplacement. Des eaux chargées de vase et de sable fin ont franchi, sans y apporter le moindre trouble, les organes de cette pompe (*).

La comparaison, au point de vue du combustible consommé, avec quelques autres pompes à vapeur du voisinage a paru indiquer en faveur de la pompe à colonne d'eau oscillante un léger bénéfice. Elle semble présenter au moins un avantage certain, sa simplicité, qui peut lui valoir la préférence dans diverses circonstances, par exemple dans les lieux éloignés des ateliers de mécaniciens; dans les usines possédant des chaudières pour d'autres objets que la création d'une force motrice, et où un simple tuyau de prise de vapeur suffirait pour mettre la nouvelle pompe en jeu; dans le cas où, comme sur les bords ébouleux d'une fouille de travaux d'art, ou bien sur un navire renfloué par un navire voisin porteur d'un générateur, le peu de stabilité de l'assiette pourrait compromettre la liaison du mécanisme et de la pompe, etc.

Philippeville, le 21 juin 1876.

(*) Une réduction au 1/5 de la pompe décrite plus haut, réduction constituant une petite machine pourvue de sa chaudière, et débitant 6 litres à la minute, a figuré à l'Exposition d'Alger, du 15 avril au 6 mai 1876. Elle y a obtenu une médaille d'argent.

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS. — Recettes de l'exploitation des

N° 56

Extraits des documents publiés par le Bureau

NOMS DES CHEMINS.	LONGUEUR TOTALE exploitée au 30 juin. 1869	1875	1876	LONGUEUR MOYENNE exploitée pendant le premier semestre. 1869	1875	1876
ANCIEN						
	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.	kilom.
Nord	1.066	(*a*) 1.164	(*a*) 1.246	1.066	(*a*) 1.164	(*a*) 1.216
Est	(*b*) 977	519	533	(*b*) 977	519	533
Ouest	900	900	900	900	900	900
Orléans	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017	2.017
Paris-Lyon-Méditerranée	(*c*) 3,579	(*c*) 3.823	(*c*) 3.945	(*c*) 3,539	(*c*) 3.823	(*c*) 3.884
Bességes à Alais (*d*)	32	33	33	32	33	33
Midi	796	796	796	796	796	796
Ceinture (rive droite)	(*e*) 20	(*e*) 20	(*e*) 20	(*e*) 20	(*e*) 20	(*e*) 20
Totaux et moyennes	9.387	9.272	9.490	9.347	9,272	9.399
NOUVEAU						
Nord	368	467	559	(*f*) 362	467	547
Est	1.761	1.722	(*g*) 1.722	1.719	1.722	(*g*) 1.722
Ouest	1,316	1.649	1.649	1,315	1.649	1.649
Orléans	1.714	2.136	2.242	1,696	2.136	2.242
Paris-Lyon-Méditerranée	419	1.118	(*g*) 1.171	395	1.104	(*g*) 1.123
Midi	949	1.230	1.235	927	1.221	1.235
Totaux et moyennes	6.527	8.322	8.578	6.414	8.302	8.518
RÉSEAU						
P.-L.-M. (Le Rhône au mont Cenis)	116	143	143	116	(*h*) 131	(*h*) 131
COMPAGNIES						
Charentes	132	500	500	125	420	500
Vendée	36	247	247	36	217	247
Nord-Est	»	120	135	»	120	124
Orléans à Châlons-sur-Marne	»	219	293	»	219	293
Lille à Valenciennes et ses extensions. — Lille à Valenciennes	»	44	63	»	44	63
Lille à Valenciennes et ses extensions. — Lérouville à Sedan	»	54	108	»	54	104
Dombes et Sud-Est	(*i*) 58	(*j*) 51	129	(*i*) 58	(*j*) 51	122
Médoc	24	93	100	22	93	100
Bressuire à Poitiers	»	12	12	»	(*k*) »	(*k*) »
Vitré à Fougères	37	81	81	37	81	81
Epinac à Velars	27	27	27	27	27	27
Lille à Béthune et à Bully-Grenay	45	50	(*l*) 40	44	50	(*l*) 42
Perpignan à Prades	22	26	26	22	26	26
Somain à Anzin et à la frontière belge	19	37	37	19	36	37
Lagny à Villeneuve-le-Comte et prolongement (chemin à voie étroite)	»	15	15	»	15	15
Saint-Dizier à Vassy	22	22	22	22	22	22
Chauny à Saint-Gobain	15	15	15	15	15	15
Dunkerque à la frontière belge	»	15	15	»	15	15
Hazebrouck à la frontière belge	»	14	14	»	14	14
Bondy à Aulnay-lès-Bondy	»	»	8	»	»	8
Rhône (la Croix-Rousse à Sathonay)	7	7	7	7	7	7
Enghien à Montmorency	3	3	3	3	3	3
Armentières à la frontière belge	»	3	3	»	3	3
Totaux et moyennes	440	(*n*) 1.655	(*m*) 1.900	430	(*n*) 1.532	(*m*) 1.868
RÉCAPITU						
Ancien réseau	9.387	9.272	9.490	9.347	9.272	9.399
Nouveau réseau	6.527	8.322	8.578	6.414	8.302	8.518
Réseau spécial	116	143	143	116	131	131
Compagnies diverses	440	1.655	1.900	430	1.532	1.868
Ensemble	(*o*) 16.470	(*q*) 19.392	(*p*) 20 111	16.307	19.237	19.916

(*) Les différences sont affectées du signe + lorsque l'année 1876 a donné des chiffres plus élevés que les

chemins de fer français (premier semestre des années 1869, 1875 et 1876).

de la Statistique centrale des Chemins de fer.

RECETTES totales du 1er semestre 1876	DIFFÉRENCES des recettes totales.		PAR KILOMÈTRE. RECETTES totales du 1er semestre 1876	PAR KILOMÈTRE. DIFFÉRENCES totales.		PAR KILOMÈTRE. DIFFÉRENCES pour 100.	
	1876 / 1869	1876 / 1875		1876 / 1869	1876 / 1875	1876 / 1869	1876 / 1875
RÉSEAU.	*	*		*	*	*	*
francs.	francs.	francs.	francs.	francs.	francs.		
51.233.198	+ 12.372.301	+ 403.270	42.133	+ 5.678	— 1.535	+ 15,58	— 3,52
19.972.134	— 8.993.324	+ 976.519	37.471	+ 7,824	+ 871	+ 26,39	+ 2,38
32.546.800	+ 5.141.179	+ 1.268.809	36.163	+ 5.712	+ 1.410	+ 18,76	+ 4,06
49.195.590	+ 7.297.355	+ 1.271.649	24.390	+ 3 617	+ 630	+ 17,41	+ 2,65
125.290.507	+ 26.192.388	— 4.567.538	32.258	+ 4.256	— 1.710	+ 15,20	— 5,03
859.145	+ 114.335	— 155.304	26,035	+ 2.760	— 4.706	+ 11,86	— 15,31
22.115.037	+ 5.997.526	— 502.575	27.783	+ 7.535	— 631	+ 37,21	— 2.22
2.519.994	+ 766.928	+ 164.097	126.000	+ 38.347	+ 8.205	+ 43,75	+ 6,97
303.732.405	+ 48.888.688	— 1.141.073	32.315	+ 5.050	— 566	+ 18,52	— 1,72
RÉSEAU.							
6.205 563	+ 2.132.643	+ 134.731	11.345	+ 91	— 1.655	+ 0.84	— 12.73
25.862.162	+ 3.467.960	+ 329.627	15.019	+ 1.992	+ 192	+ 15.29	+ 1.29
15.487.023	+ 3.266.590	+ 357.970	9.392	+ 99	+ 217	+ 1.07	+ 2.37
20.187,308	+ 6.968.117	+ 70.805	9.004	+ 1.210	— 414	+ 15,52	— 4,40
8.239.463	+ 5.201.099	— 32.642	7.337	— 355	— 156	— 4,62	— 2,08
9.431.423	+ 4.468.114	+ 288.961	7.637	+ 2.283	+ 168	+ 42,64	+ 2,25
85.412.942	+ 25.504.523	+ 1.149.452	10.027	+ 687	— 123	+ 7,36	— 1,21
SPÉCIAL.							
2.641.585	+ 1.723.387	+ 119.386	20.165	+ 12 249	+ 910	+ 154,74	+ 4,73
DIVERSES.							
3.105.726	+ 2.214.776	+ 580.297	6.212	— 917	+ 198	— 12,86	+ 3.29
998,602	+ 918.337	+ 337.240	4.043	+ 1.813	+ 995	+ 81,30	+ 32,64
426.274	+ 426 274	+ 53.834	3.438	»	+ 331	»	+ 10,76
830.733	+ 830.733	+ 304.086	2.835	»	+ 430	»	+ 17,88
446.614	+ 446.614	+ 50.262	7.089	»	— 1.919	»	— 21.30
239.844	+ 239.844	+ 101,470	2.306	»	— 256	»	— 9.99
680.539	+ 417.445	+ 453.556	5.578	+ 1.042	+ 1.127	+ 22,97	+ 25,32
415.424	+ 344.450	+ 2.578	4.154	+ 928	— 285	+ 28,77	— 6,42
»	»	»	»	»	»	»	»
216.734	+ 120 026	+ 15.587	2.676	+ 62	+ 193	+ 2,37	+ 7.77
102,824	— 77.325	— 8,917	3.808	— 2.864	— 331	— 42,93	— 8,00
447.697	+ 161.084	+ 41.326	10.659	+ 4.145	+ 2.532	+ 63,63	+ 31,16
151.328	+ 97,966	— 37.194	5.820	+ 3.394	— 1.431	+ 139,90	— 19,74
1.314.208	+ 871,054	+ 177.744	35.519	+ 12.195	+ 3.951	+ 52,39	+ 12.52
28.035	+ 28.035	+ 7.437	1.869	»	+ 496	»	+ 36.13
123.878	+ 66.730	— 65.322	5.631	+ 3.033	— 2,969	+ 116,74	— 34.52
104.666	+ 4.985	— 3.274	6.978	+ 333	— 218	+ 5.01	— 3.03
74.615	+ 74.615	+ 8.308	4,974	»	+ 554	»	+ 12.53
31.338	+ 31.338	+ 1.473	2.238	»	+ 105	»	+ 4,92
11.835	+ 11.835	+ 11,835	1.479	»	»	»	»
94.676	+ 13.105	+ 21.262	13.525	+ 1.872	+ 3.037	+ 16,06	+ 28,96
98,218	+ 39.964	+ 20.551	32.739	+ 13.121	+ 6.850	+ 66,88	+ 26,46
18.100	+ 18 100	+ 217	6,033	»	+ 72	»	+ 1,21
9.961.908	+ 7.299.385	+ 2.074.356	5.333	— 859	+ 184	— 13,87	+ 3,57
LATION.							
303.732.405	+ 48.888.688	— 1.141.073	32.315	+ 5.050	— 566	+ 18,52	— 1.72
85.412.942	+ 25.504.523	+ 1.149.452	10,027	+ 687	— 123	+ 7,36	— 1.21
2.641.585	+ 1.723.387	+ 119.386	20.165	+ 12.249	+ 910	+ 154,74	+ 4.73
9.961.908	+ 7.299.385	+ 2,074.356	5.333	— 859	+ 184	— 13,87	+ 3,57
r) 401.748.840	+ 83.415.983	+ 2.202.121	20.172	+ 651	— 598	+ 3,33	— 2,88

années précédentes: elles sont affectées du signe — dans le cas contraire.

OBSERVATIONS.

(*a*) Non compris 2 kilomètres pour la section de la gare d'eau de Saint-Ouen au chemin de ceinture (R. D., mais y compris le réseau spécial incorporé dans l'ancien réseau à partir du 1er janvier 1876,

(*b*) Y compris 4 kilomètres, sur le territoire suisse, exploités par la compagnie de l'Est (ligne de Strasbourg à Bâle)

(*c*) Y compris 15 kilomètres sur le territoire suisse, de la frontière à Genève.

(*d*) Ligne appartenant à la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, qui en fait l'objet d'une exploitation spéciale.

(*e*) Y compris 3 kilomètres pour l'embranchement du marché aux bestiaux de la Villette, appartenant à la Ville de Paris.

(*f*) Non compris 6 kilomètres, pour la section d'Anor à la frontière, appartenant à la compagnie du Nord et exploitée, en 1869, par la compagnie belge de Chimay.

(*g*) La section d'Is-sur-Tille à Vaux-sous-Aubigny (21 kilom.), appartenant à la compagnie de l'Est, en vertu de la convention approuvée par la loi du 31 décembre 1875, est exploitée par la compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, jusqu'à la mise en exploitation de la ligne entière de Dijon à Gray.

(*h*) Non compris la section de Modane à la frontière d'Italie (12 kilom.).

(*i*) Y compris 7 kilomètres empruntés à la compagnie du Rhône.

(*j*) Non compris 3 kilomètres pour la section de l'Arbresle à Sain-Bel, ouverte pour un service spécial de marchandises.

(*k*) La section de Neuville-le-Poiton au Grand-Pont (12 kilom.) est exploitée provisoirement par la compagnie de la Vendée comme tête de ligne du chemin d'intérêt local de Saumur à Poitiers.

(*l*) Non compris la section de Violaines à Bully-Grenay (10 kilom.), à partir du 10 février 1876.

(*m*) Non compris les sections de Vireux à la frontière (2 kilom.), de Lyon à la Croix-Rousse (1 kilom.), dont les produits ne figurent pas dans le présent tableau.

(*n*) Non compris les sections de l'Arbresle à Sain-Bel (3 kilom.), de Virenx à la frontière (2 kilom), de Lyon à la Croix-Rousse (1 kilom.), dont les produits ne figurent pas dans le présent tableau.

(*o*) Y compris 19 kilomètres sur le territoire suisse (voir notes *b* et *c*), mais non compris les lignes de Vireux à la frontière (2 kilom.), et de Lyon à la Croix-Rousse (1 kilom.), dont les produits ne figurent pas au présent tableau et déduction faite du parcours commun. (Voir note *i*.)

(*p*) Les sections ouvertes du 1er juillet 1875 au 30 juin 1876 ont une étendue de 726 kilomètres, savoir :

1° ANCIEN RÉSEAU.

Nord. — Beaumont à Méru, le 1er juillet 1875	16	82
— Beauvais à Saint-Omer-en-Chaussée, le 1er juillet 1875	14	
— Méru à Beauvais, le 15 avril 1876	23	
— Saint-Omer-en-Chaussée à Conty, le 15 avril 1876	29	
Est. — Boissy-Saint-Leger à Brie-Comte-Robert, le 5 août 1875		14
Paris-Lyon-Méd. — Pontarlier à la frontière suisse, le 1er juillet 1875	19	122
— Embranchement de Trinquetaille, le 6 décembre 1875	2	
— La Pauline à Hyères (ville), le 6 décembre 1875	10	
— Le Pouzin à Gagnières, le 1er mai 1876	91	
Total pour l'ancien réseau		218

2° NOUVEAU RÉSEAU.

Nord. — Montreuil à Étaples, le 2 octobre 1875.	11	92
— Arras à Saint-Pol, le 22 novembre 1875.	38	
— Béthune à Saint-Pol, le 22 novembre 1875.	27	
— Saint-Pol à Frévent, le 15 mai 1876.	16	
Orléans. — Limoges à Brive, le 20 décembre 1875.	81	106
— Saint-Antoine-Port-Ste-Foy à Bergerac, le 20 décembre 1875.	25	
Paris-Lyon-Méd. — Avallon aux Laumes, le 15 juin 1876.		53
Midi. — Port-Vendres à Banyuls, le 14 août 1875.		5
Total pour le nouveau réseau.		256

3° COMPAGNIES DIVERSES.

Nord-Est. — Lille à Commines, le 15 mai 1876.		15
Orléans à Châlons. — Orléans à Montargis, le 21 septembre 1875.	71	74
— Coolus à Châlons-sur-Marne, le 7 octobre 1875.	3	
Lille à Valenciennes et Lérouville à Sedan. — Saint-Amand à Blanc-Misseron, le 20 juillet 1875.	19	73
— Verdun à Dun, le 22 novembre 1875.	40	
— Dun à Stenay, le 21 février 1876.	14	
Dombes et Sud-Est. — Lyon à l'Arbresle, le 17 janvier 1876.	23	75
— Saint-Bel à Montbrison, le 17 janvier 1876.	52	
Médoc. — Soulac au Verdon, le 14 août 1875.		7
Bondy à Aulnay. — Bondy à Gargan, le 7 août 1875.	4	8
— Gargan à Aulnay-les-Bondy, le 8 septembre 1875.	4	
Total pour les compagnies diverses.		252
Ensemble.		726
Longueur totale exploitée au 30 juin 1875. (Voir note *m*.)		19.400
Longueur totale exploitée au 30 juin 1876.		20.126
A déduire : longueur des lignes qui ne figurent pas au présent tableau. (Voir notes *a*, *c*, *l* et *m*.)		15
Reste égal au total ci-contre (*).		20.111
(*q*) Longueur totale exploitée au 30 juin 1875.		19.400
A déduire : longueur des lignes qui ne figurent pas au présent tableau. (Voir notes *a* et *n*.)		8
Reste égal au total ci-contre (*).		19.392

(*r*) Déduction faite des détaxes et non compris les impôts sur les transports qui s'élèvent aux chiffres suivants :

	1876	1875
Grande vitesse.	31.355.490 fr.	31.039.396 fr.
Petite vitesse.	10.995.329	10.990.890
Ensemble.	42.350.819 fr.	42.030.286 fr.

NOTA. — *Les comptes du 2e trimestre de 1876 n'étant pas encore définitivement arrêtés, les chiffres qui se rapportent à cette période peuvent être susceptibles de quelques modifications.*

(*) Y compris 15 kilomètres sur le territoire suisse (voir note *c*) et 3 kilomètres pour l'embranchement du marché aux bestiaux de la Villette. (Voir note *e*.)

CHRONIQUE.

Décembre 1876.

N° 57

CHLORURAGE DES CHAUSSÉES EMPIERRÉES.

1° *Note de M. Lelong, conducteur des ponts et chaussées à Rouen*

Le chlorure de calcium employé pour l'arrosage ne produit un bon effet que lorsqu'il pénètre sur une certaine épaisseur de la chaussée. Aussi faut-il bien se garder de l'employer sur une chaussée sèche. Avant son emploi, la chaussée doit être ramollie par un ou plusieurs arrosages à l'eau.

La longueur de chaussée qu'une tonne peut arroser *à deux fois en forçant le pas du cheval*, étant déterminée, on opérera d'abord à l'eau ordinaire jusqu'à détrempage convenable, puis lorsqu'on ne voit plus de petites flaques à la surface, ce qui a lieu 15 ou 20 minutes après le dernier arrosage, on versera le chlorure en deux passages successifs.

A la fin de la journée il faut arroser *légèrement* à l'eau toutes les parties chlorurées, pour bien terminer l'opération. Ce dernier arrosage a pour but de diviser le chlorure dans les parties où il serait trop épais, de l'égaliser et de le faire pénétrer dans la chaussée.

Sur les boulevards de Rouen, nous nous servons le plus souvent de tonnes de 1.200 litres pour l'arrosage au chlorure sur une longueur de 300 mètres de chaussée. Le répandage du chlorure étant fait en deux fois, nous avons versé par mètre carré, après le premier passage de la tonne, $0^l,40$ et après le second $0^l,80$ (surface : 1.500^{mq}). Le dernier arrosage à l'eau (à la fin de la journée) ne demande approximativement que $0^l,40$ par mètre carré, c'est-à-dire un seul passage rapide.

Nous croyons devoir ajouter qu'après un cylindrage, en temps sec, le chlorurage produit un très-bon résultat, mais il faut verser le double du volume ordinaire.

Tout ce que nous avons dit s'applique à une chaussée parfaitement propre, il faut donc d'abord balayer à fond, à moins qu'on n'opère immédiatement après de grandes averses ou des vents prolongés.

Tableau des chlorurages et des arrosages à l'eau ordinaire faits en 1875 et en 1876.

DÉSIGNATION des routes.	DATES DES OPÉRATIONS de l'arrosage		TEMPS écoulé entre deux chlorurages.	OBSERVATION.
	au chlorure.	à l'eau ordinaire.		
Route nationale n° 28.	17 avril 1875. 31 mai 1875.	22, 23 avril, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 19, 20, 22, 29 mai (1).	44 jours.	
Route nationale n° 138.	5 juin 1875. 30 juin 1875.	11 au 19, 21 et 29 juin 1875 (2).	25 jours.	
Route nationale n° 28.	29 avril 1876. 17 mai 1876. 17 juin 1876. 14 juillet 1876.	11 mai 1876. 23 mai 1876. 28 juin 1876.	18 jours. 30 jours. 26 jours.	Arrosages faits à la tonne.
Route nationale n° 138.	20 juin 1876. 15 juillet 1876.	29 juin 1876.	24 jours.	

(1) Jours de pluie. La quantité d'eau tombée les 22 et 23 avril est de 9mm,5
et celle tombée pendant le mois de mai est de. 24mm,5
—————
34mm,0

(2) Jours de pluie. La quantité totale d'eau tombée est de. 41mm,5

On voit par les résultats contenus dans ce tableau (col. 4), que l'arrosage ordinaire permet de retarder beaucoup la reprise des opérations de chlorurage, et procure par suite une notable économie. Sans les arrosages à l'eau, il faudrait chlorurer (dans les grandes chaleurs) tous les 10 ou 12 jours.

Après le 15 août, on peut généralement ne plus employer de chlorure et se contenter de l'arrosage à l'eau.

Le chlorurage réussit mieux sur les chaussées à gangue sableuse que sur les chaussées à gangue calcaire.

Tout ce qui précède suppose l'emploi du résidu de la fabrication du chlorate de potasse, marquant 30° au pèse-sel, tel que nous le livre l'usine Malétra.

Août 1876.

2° Extrait de renseignements autographiés sur le service des routes de la Seine-Inférieure.

Le chlorurage des chaussées coûte, en sus de l'arrosage ordinaire, le prix d'achat du chlorure de calcium (*), qui est vendu par l'usine Malétra à 7f,50 les 1.000 litres.

Le prix de revient peut s'établir ainsi pour les boulevards de Rouen.

Achat de 100 litres à l'usine.	0f,750
Aller et retour à 3.500 mètres.	0f,182
Remplissage et répandage comme ci-dessus.	0f,024
Prix des 100 litres répandus.	0f,956

Pour obtenir un bon résultat, il faut répandre environ 80 litres pour 100 mètres carrés ; il faut un balayage et deux arrosages préalables à l'eau pure pour détremper le corps de la chaussée.

De là il résulte que le prix de 100 mètres carrés de chaussée chlorurée sera :

80 litres à 0f,00956.	0f,765
1 balayage.	0f,031
2 arrosages à l'eau pure.	0f,058
Total par 100 mètres carrés.	0f,854

Il faut 5 ou 6 arrosages par an pour maintenir une chaussée dans un état hygrométrique convenable. Cela fait par an une dépense de 5f,12 qui équivaut à la dépense de 23 arrosages ordinaires.

Le résultat obtenu par ces 6 arrosages est bien supérieur à ce que produiraient les 23 arrosages à l'eau pure, au point de vue de l'usure par suite de désagrégation.

Il y a longtemps déjà que l'on a eu l'idée de substituer à l'arrosage ordinaire l'emploi de sels déliquescents. M. Tarbé de Saint-Hardouin, alors ingénieur en chef du Rhône, fit appliquer ce procédé de 1858 à 1861 dans la presqu'île de Perrache, sur la route nationale n° 88, qui, placée sur la rive droite du Rhône dans la direction du nord au sud, et violemment balayée par les vents régnants de la vallée, se dégradait avec une rapidité extrême.

(*) La dissolution de chlorure de calcium fournie par l'usine Malétra marque 30° au pèse-sel. Elle pèse 1262 kilos par mètre cube et contient 375 kilos de chlorure de calcium anhydre.

Cette dissolution est donc impure, car s'il n'y avait que du chlorure de calcium, une dissolution à 30° en contiendrait 687 kilos par mètre cube.

On avait à lutter contre la même difficulté à Rouen, dans l'avenue est-ouest du mont Riboudet, où les vents régnants soufflent de l'ouest. On avait pensé à y établir un pavage. Le chlorurage y fut appliqué vers 1865.

Des essais faits en 1859 et en 1862 par M. l'ingénieur Darcel sur plusieurs chaussées du bois de Boulogne, essais renouvelés en 1864 sur la place de l'Observatoire, ont conduit à penser qu'à Paris au moins, où l'on dispose d'une grande quantité d'eau, il n'y a pas lieu de recourir aux sels déliquescents. E. M.

N° 58

ENDIGUEMENT DE LA BAIE DU MONT SAINT-MICHEL.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale a décerné au mois de juillet le prix de 2.000 francs, qu'elle avait offert pour des travaux de desséchement ou d'endiguement, à la compagnie des polders de l'Ouest pour ses travaux d'endiguement de la baie du mont Saint-Michel et de la baie des Veys.

Nous extrayons du *Bulletin de la Société d'encouragement* la partie d'un rapport de M. Hervé Mangon qui se rapporte à ces travaux :

« En vertu de décrets du 21 juillet 1856, 30 novembre 1867 et « de diverses conventions particulières, la compagnie des polders « de l'Ouest est concessionnaire, dans la baie du mont Saint-Michel, « de 2.900 hectares, et dans la baie des Veys de 1.000 hectares de « lais et relais de mer. Aux termes du cahier des charges, le con- « cessionnaire devait, avant tout, fixer et endiguer à ses frais la « rivière du Couesnon, opération dont la dépense avait été évaluée « à 622.122 francs.

« La fixation du lit du Couesnon était une opération coûteuse et « difficile, mais indispensable à toute entreprise d'endiguement « dans la baie du mont Saint-Michel. Ce cours d'eau considérable « se déplaçait en effet périodiquement, au milieu de l'immense « surface des grèves, détruisant les alluvions qui tendaient à se « former et menaçant, à des intervalles de temps plus ou moins « longs, les digues du grand marais de Dol, de 14.000 hectares « d'étendue, endigué au commencement du XVI[e] siècle.

« Les travaux de fixation du Couesnon, exécutés par des moyens « ingénieux, réussirent à souhait. La rivière est devenue navigable « pour les bâtiments de mer jusqu'à Moidrey, et les endiguements

anciens ou récents n'ont plus rien à craindre de ce cours d'eau si redoutable autrefois.

« Les lais et relais de mer de la baie du mont Saint-Michel ne peuvent être endigués avec avantage pour la culture qu'autant qu'ils sont recouverts d'une végétation naturelle de gazons ou au moins de criste-marine. Cette végétation se produit seulement sur les terrains dont la surface est voisine de la cote 11 mètres, c'est-à-dire placée à 1 mètre environ au-dessous du niveau des hautes mers. Les terrains de la baie Saint-Michel sont principalement formés de tangue; ils sont légers et se prêtent avec bénéfice à la culture du colza, du froment, des racines et des légumineuses.

« Les terrains de la baie des Veys diffèrent beaucoup de ceux de la baie du mont Saint-Michel. Ils sont riches en argile et en matière organique. Ils sont extrêmement fertiles, même lors« qu'ils n'ont porté aucune végétation naturelle avant l'endigue« ment. On peut les enclore avec profit dès que leur surface est « arrivée à la cote 12, c'est-à-dire 2 mètres au-dessous du niveau « des grandes marées.

« Aussitôt après la construction des digues, on ouvre des fossés « de clôture et d'assainissement. Quelques mois après, on donne « deux ou trois labours. On laisse la terre exposée à l'air pendant « quelques mois, puis on donne un dernier labour, sur lequel on « sème du froment, de l'orge ou de l'avoine, suivant la richesse en « argile du terrain. On cultive en céréales pendant trois ou quatre « ans, et enfin on sème des graines de foin pour transformer les « polders en herbages.

« La différence de niveau des terrains endigables des deux baies, « et surtout l'inégalité de l'amplitude des marées, qui est de « 15 mètres au mont Saint-Michel et de 7 mètres seulement aux « Veys, conduisent à des méthodes de construction de digues fort « différentes dans les deux baies. Les digues sont toujours en « terre, revêtues de perrés en pierre, ou de gazons dans les par« ties très-abritées, mais leur exécution est naturellement beau« coup plus facile et moins coûteuse dans la baie Saint-Michel « que dans la baie des Veys, Les rigoles d'assèchement, les clapets « automobiles d'écoulement ne présentent aucune particularité « remarquable, et il est inutile de s'arrêter ici à ces détails « d'exécution.

« Depuis 1836 jusqu'à ce jour, la compagnie a endigué dans la « baie du mont Saint-Michel 18 polders d'une surface totale de « 1.044 hectares 83 ares 13 centiares, et dans la baie des Veys

« 11 polders d'une surface totale de 343 hectares 72 ares 16 cen-
« tiares, soit en tout 1.388 hectares 55 ares 29 centiares. D'autres
« part, dans la baie Saint-Michel, 91 hectares de terrains, appar-
« tenant à des particuliers, se sont trouvés mis à l'abri des flots
« par les digues du Couesnon exécutées par la compagnie.

« L'endiguement coûte, en moyenne 500 francs par hectare « dans la baie Saint-Michel et 2.000 francs dans la baie des Veys. « Les polders de la baie Saint-Michel valent aujourd'hui, en « moyenne, 3.000 francs l'hectare, et ceux de la baie des Veys « plus de 4.000 francs. La valeur de ces terrains augmente d'ail- « leurs avec le temps d'une manière très-notable. On peut, dès « aujourd'hui, sans exagération, fixer à 4 ou 5 millions la valeur « des terrains conquis par la compagnie dans les deux baies. Les « travaux d'endiguement sont donc, par eux-mêmes, extrêmement « avantageux et le deviendront de plus en plus avec le temps. « Malheureusement, d'autres opérations non agricoles, imposées « à la compagnie lors de sa formation, et dont nous n'avons pas à « nous occuper en ce moment, absorbent une partie des bénéfices « des travaux de poldérisation.

« Indépendamment de la conquête de 1.388 hectares de terre « dont nous venons de parler, les travaux de la compagnie ont « produit plusieurs autres résultats d'une grande importance. Ils « ont amélioré d'une manière très-sensible l'état sanitaire des « contrées voisines; ils ont mis l'abri de tout danger de grandes « étendues de terrains anciennement endigués et souvent menacés « jusqu'à présent de l'invasion des eaux; ils ont creusé, dans « l'anse de Moidrey, un petit port où le tonnage s'élève déjà à « 4 ou 5.000 tonnes par an; enfin, ils ont beaucoup amélioré le « sort des populations voisines, en leur fournissant un travail « abondant et bien rétribué. »

Les travaux de la compagnie ont été dirigés d'abord par M. de Saint-Dridan, ingénieur des ponts et chaussées, puis par M. Camus, également ingénieur des ponts et chaussées, actuellement membre du conseil d'administration de la compagnie des polders de l'Ouest et directeur de la compagnie parisienne du gaz.

N° 59

Le seismographe de M. Carlile. — M. H. Carlile, directeur du chemin de fer de Dünaburg à Vitebsk, a fait construire un appareil qu'il a appelé seismographe, et qui a pour but d'étudier

expérimentalement l'état des voies ferrées en enregistrant les chocs subis par les véhicules roulant sur ces voies ou les oscillations qu'ils subissent. Le principe de cet appareil, que décrit complétement l'*Engineering*, du 25 août est le suivant : lorsqu'un corps d'un poids assez notable est suspendu à un cadre animé d'un mouvement régulier auquel il participe, tout changement brusque de la vitesse, en grandeur ou en direction sera transmis au corps, mais avec un certain retard dépendant de son inertie, de telle sorte que ce corps, qui était en repos relatif par rapport à son support, sera animé pour un temps plus ou moins court d'un mouvement relatif.

Sans entrer dans le détail de l'appareil qui paraît ingénieusement construit, on conçoit que par l'intermédiaire de leviers ce mouvement relatif puisse être enregistré sur une bande de papier entraînée par le cadre et se déroulant en outre dans un sens perpendiculaire au mouvement de celui-ci sous l'action d'un mouvement d'horlogerie. Le style de l'enregistreur tracera une droite si le mouvement du support est uniforme ; il y aura production d'une courbe peu accentuée pour toute modification lente de la vitesse ; mais tout choc, tout changement brusque produira un crochet ; les oscillations se manifesteront par une série de crochets successifs, la distance de ces crochets servira à mesurer la durée des oscillations si l'on connaît la vitesse du papier sur lequel se fait l'enregistrement.

L'appareil a été essayé pour enregistrer les oscillations des locomotives : on fit les expériences sur une même partie de la voie, en attelant diverses machines marchant à des vitesses variables à un même train qui avait un poids de 79 tonnes. Les locomotives étaient de types divers (l'une d'elles était en assez mauvais état et devait être réparée sous peu), les vitesses varièrent entre 21 et 55 kilomètres. Ces expériences montrèrent que, en général, les diagrammes obtenus varient avec la machine considérée, d'une part ; mais que, d'autre part, pour une même machine si ces tracés diffèrent avec la vitesse, ils n'en donnent pas moins des indications concordantes sur les parties de la voie où se produisent les oscillations, celles-ci différant seulement d'amplitude avec la vitesse.

Il paraît résulter de ces expériences, qu'il serait nécessaire de voir répéter, que le seismographe est susceptible de donner des indications qui, convenablement interprétées, pourraient renseigner sur l'état des voies de chemins de fer.

Résistance à la compression de divers terrains pilonnés.—M. Ar-

son, ingénieur en chef de la compagnie Parisienne du gaz, a étudié expérimentalement la résistance à la compression de divers terrains pilonnés, à l'occasion de la construction des grands gazomètres des Ternes et de Belleville. Voici, d'après les *Comptes-rendus de la Société des ingénieurs civils,* les résultats principaux auxquels il est arrivé :

Les terrains sur lesquels on a fait les recherches ont été le sable de rivière, le tuf blanc et la terre végétale ; on pilonnait par couches de 0m,05. Dans ces conditions, la densité de la terre végétale augmente d'un tiers; celle du sable de rivière d'un cinquième. Dans le dernier cas, il reste après le pilonnage encore 20 p. 100 de vides que l'on réduit notablement en pratiquant simultanément le pilonnage et l'arrosage à grande eau, à la condition d'éviter la présence de l'argile. On pourrait faire disparaître ces vides presque totalement en mêlant du sable fin au sable de rivière; mais le sable fin serait entraîné par les pluies.

La compression s'exerçait au moyen de presses hydrauliques et de leviers, et les mesures étaient prises avec une grande précision. Dans ces conditions, on obtint les résultats suivants :

1° Le sable de rivière, *arrosé* et *pilonné*, résiste jusqu'à 100 kilog. par décimètre carré; au delà, un léger enfoncement se produit. Le sable pilonné transmet donc très-mal les pressions ; il constitue, par suite, d'excellents remblais et même de bonnes fondations de bâtiments. Ces résultats sont conformes d'ailleurs à ceux obtenus en 1838 par le maréchal Niel, alors capitaine du génie.

2° Le tuf blanc, humide, mais non arrosé, a résisté jusqu'à 80 kilog. par décimètre carré ; au delà et jusqu'à 184 kilog., l'équilibre s'est maintenu avec une légère dépression de 0m,025.

3° La terre végétale humide pilonnée résistant à 44 kilog. par décimètre carré ; à 47 kilog. se produisait une dépression de 0m,05, et à 90 kilog. un enfoncement de 0m,01.

Emploi des ciments pour les mortiers. — Nous trouvons, dans le même travail, des recherches faites sur les mortiers de ciment de Portland à prise lente qui sont employés dans les maçonneries des parois verticales des cuves des gazomètres. Voici quelques-uns des résultats obtenus :

Une briquette de ciment pur, faite depuis six semaines et maintenue sous l'eau pendant tout ce temps, s'est rompue à la traction sous une charge de 12 kilog. par centimètre carré. Une briquette analogue, mais maintenue sous l'eau pendant six mois, s'est rompue seulement sous une charge de 31 kilog.

Les proportions du mélange qui constitue le mortier ont une influence considérable dont les chiffres suivants donnent une idée : un mortier à 2 de sable pour 1 de ciment rompt à 19 kilog. par centimètre carré ; la charge de rupture est élevée à 30 kilog. si le mortier est à 1 de sable pour 1 de ciment.

Des essais ont été faits, d'autre part, pour étudier le retrait que peut occasionner la prise du ciment mélangé en diverses proportions avec le sable. Employé pur, le ciment a éprouvé des fissures espacées de 0m,30 en moyenne ; mélangé au sable par parties égales, les fissures se produisaient de mètre en mètre ; elles disparaissaient presque complétement si la proportion de sable s'élevait à 2 pour 1 de ciment ; enfin la surface restait unie si le mortier comprenait 3 de sable pour 1 de ciment.

Nouveaux ponts à Philadelphie. — Pour faciliter les moyens de communication à l'Exposition de Philadelphie, plusieurs ponts ont été construits par-dessus les voies du Pennsylvania Railroad. Nous empruntons quelques renseignements sur ces ponts au *Journal of the Franklin Institute.*

Le premier, auquel aboutit la 41e rue, est construit dans le système dit « Stiffened triangular truss », il présente une travée de 65 mètres, sa largeur est de 18m,30 ; il laisse au-dessus de la voie une hauteur libre de 5m,35 ; il peut résister à une charge de 7.120 kilogrammes par mètre courant. Il aura coûté 135.900 francs.

Un autre pont a été établi à l'intersection des avenues Belmont et Girard qui le traversent en s'y coupant à angle droit : il est formé par des poutres en fer (iron truss structure) : il a 109m,70 de largeur du côté S.-O. et 73m,10 du côté N.-E.; sa longueur est de 91m,45 dans l'axe de l'avenue Girard et de 45m,70 sur l'axe de l'avenue Belmont. Il livre passage par-dessus à dix voies du Pennsylvania Railroad. Son prix est de 1.500.000 francs.

Enfin le troisième pont dont nous voulons parler est établi sur la 14e rue : il est construit sur le système des ponts suspendus rigides Ordish dont nous avons indiqué le principe (*). Il se compose de trois travées ; une travée centrale de 52m,40 et deux travées latérales de 22m,85 faisant une longueur totale de 98m,10 : il livre passage par-dessous à vingt-deux voies dont les rails sont à 5m,35 au-dessous de la partie inférieure du tablier; sa largeur est 18m,30. Nous n'avons pas à insister sur les dispositions spéciales de

(*) Voir *Annales*, 1876, 1er sem., p. 10.

ce système : nous dirons seulement que les cables reposent sur des tours en fer qui s'élèvent à une hauteur de 18^m,30 au-dessus du tablier. Ces tours reposent sur des piles en pierre, et reçoivent le câble à 5^m,60 au-dessous de leur sommet. Ce pont, qui est fort orné, a coûté 430.000 francs.

Grappins automoteurs Toselli. — Ces appareils, qui ont pour but de prendre et de retirer du fond de la mer des objets de grands poids, et qui ont été employés déjà dans diverses circonstances, figuraient à l'Exposition des industries fluviales et maritimes de 1875. Ils viennent d'être l'objet, dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, d'un rapport de M. Tresca, d'où nous extrayons ce qui suit :

La partie fondamentale des divers modèles imaginés par M. Toselli, se compose de bras plus ou moins longs articulés au pourtour d'une couronne fixée à l'extrémité inférieure d'un câble : les bras sont maintenus écartés pendant la descente du grappin, et jusqu'au moment de l'arrivée sur le fond ; ils se rapprochent lorsque l'on relève l'engin de manière à enserrer l'objet qu'il s'agit de retirer ; une fois pris entre les crampons, le poids même de la prise maintient les bras entièrement fermés et enchevêtrés de manière à assurer l'arrivée au jour, à la seule condition que la corde de relevage soit assez résistante.

Divers dispositifs ont été imaginés et appliqués par M. Toselli : nous n'entrerons pas dans le détail, on conçoit facilement qu'on puisse de plusieurs manières maintenir l'écartement des bras à l'aide de bagues ou de chaines qui rendent les bras libres, quand la partie centrale vient à toucher le sol. Dans certains modèles, M. Toselli a simplement armé chacun des bras de palettes horizontales vers leurs points d'articulation : la résistance que ces palettes éprouvent de la part de l'eau maintient le grappin ouvert pendant sa descente et aide à la fermeture pendant le relevage : cette dernière disposition paraît surtout commode lorsqu'il s'agit de sonder sans autre guide que la corde, car si l'opérateur s'aperçoit qu'il n'a rien capté, il lui suffit de remonter l'appareil de quelques mètres pour pouvoir le représenter en un point voisin.

Parmi les résultats qui ont été obtenus avec cet appareil, on peut citer le relèvement d'une chaloupe chargée de lingots de plomb, qui avait coulé dans le port de Marseille, à une centaine de mètres du quai de la Cannebière. Du premier coup la chaloupe a été prise dans les griffes du grappin et amenée hors de l'eau.

C. M. G.

N° 60

BIBLIOGRAPHIE.

NOTE
SUR
LE TRAITÉ D'HYDRAULIQUE MATHÉMATIQUE ET PRATIQUE

DE M. ILDEBRANDO NAZZANI,
Professeur à l'Institut technique de Palerme;

Par M. Ed. COLLIGNON, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Déjà, à plusieurs reprises, le Bulletin bibliographique des *Annales des ponts et chaussées* a signalé l'apparition des livraisons du *Traité d'hydraulique* dont M. Nazzani est l'auteur. Les trois premiers volumes de ce grand ouvrage sont dès aujourd'hui publiés. Le quatrième est en cours de publication. Nous pensons rendre service à ceux qu'intéressent ces matières en présentant une analyse des deux premiers volumes parus.

L'auteur s'est proposé de présenter l'état actuel de la science hydraulique et de l'art de diriger les eaux. S'il avait voulu seulement résumer la science italienne, son travail offrirait déjà un grand intérêt, car, nulle part, l'hydraulique n'a été cultivée avec plus d'ardeur qu'en Italie, nulle part elle n'a joué depuis des siècles un rôle plus important. M. Nazzani ne s'est pas contenté d'un programme aussi étendu. Ce qui frappe peut-être le plus dans l'école italienne contemporaine, et ce qui forme contraste

avec les habitudes antérieures, c'est la profonde érudition dont ses représentants font preuve : les savants italiens lisent tout. Pour sa part, M. Nazzani a mis à contribution tout ce qu'on a publié sur l'hydraulique dans le monde entier ; il a tout lu, tout discuté. Jaloux d'épargner aux autres la peine qu'il s'est donnée à lui-même, il a pris le soin d'indiquer toujours les noms techniques en plusieurs langues, anglais, français, allemand, latin, précaution très-utile pour faciliter la lecture des ouvrages spéciaux publiés à l'étranger.

Une courte introduction contient certains résultats essentiels de la théorie des erreurs, et expose les méthodes pour la détermination des formules empiriques ; elle est suivie du rappel des principes et des théorèmes généraux de la mécanique rationnelle.

L'ouvrage proprement dit est divisé en six livres : les quatre premiers remplissent les deux premiers volumes : c'est d'eux seuls qu'il sera question ici.

Le livre I[er] a pour objet l'hydrostatique. Fidèle à son but pratique, l'auteur, après avoir établi les principes connus, donne la théorie des digues et des murs destinés à soutenir la poussée de l'eau ; il y rend compte des travaux de Sazilly, de MM. Delocre, Krantz, Graeff, Lafont, de Lagrené, et traite à fond un sujet qui a exercé tant d'ingénieurs et provoqué tant d'utiles études. Il laisse de côté la question de la stabilité des corps flottants, question encore bien obscure, et qu'il est permis de regarder comme étrangère à un traité d'hydraulique.

Le livre II, consacré à l'hydrodynamique rationnelle, est le livre le plus court de l'ouvrage : brièveté qui accuse la science, et non l'auteur.

Le livre III, intitulé *Phoronomie*, expose les lois de l'écoulement de l'eau par les orifices de diverses formes. A propos des lois du frottement et de la cohésion des liquides, l'auteur signale en note un mémoire très-impor-

tant de M. le colonel Pietro Conti, sur le frottement en général (1) ; les nombreuses expériences relatées en grand détail dans ce mémoire conduisent à contester la loi admise pour le frottement des solides, surtout en ce qui concerne la prétendue indépendance du coefficient du frottement d'avec la vitesse relative. Le frottement commence par croître avec la vitesse, il atteint bientôt un maximum pour des vitesses comprises entre 1 et 2 mètres par seconde, après quoi il décroît de plus en plus lentement à mesure que la vitesse augmente. C'est la confirmation pleine et entière des doutes déjà émis à ce sujet par MM. Sella, Bochet, Hirn et Jules Poirée (2).

M. Nazzani consacre plusieurs chapitres à l'étude de la veine fluide et à celle de l'écoulement par les orifices, qu'il partage en trois genres, savoir : orifices simples, déversoirs et orifices accompagnés d'ajutages ; chaque genre est divisé en un certain nombre de catégories, qui se subdivisent encore, de telle sorte que l'ensemble des cas examinés s'élève en définitive à dix-neuf. Vient ensuite l'étude des effets des changements brusques de section et de l'influence des coudes ; puis toute la théorie des actions mutuelles des liquides et des solides dans leur mouvement relatif ; puis enfin des problèmes sur l'écoulement à niveau variable : l'auteur, adoptant l'usage consacré par la pratique de presque tous les ingénieurs, applique à l'écoulement variable les équations du régime permanent. Les beaux travaux de M. Graeff sont résumés dans cette partie de l'ouvrage. Il est un détail que notre analyse sommaire ne peut qu'indiquer ici : c'est l'abondance des tableaux numériques et des données pratiques contenus dans ce livre,

---

(1) *Sul attrito* (*atti della R. Academia dei Lincei*). Rome, 1874.

(2) M. Marcel Deprez, à l'aide d'une machine ingénieuse dont il est l'inventeur, et qu'il a présentée cette année au congrès de l'Association française à Clermont, est arrivé de son côté à mettre en évidence des résultats analogues.

ainsi que la masse des problèmes spéciaux examinés et résolus (1). Les hommes de métier apprécient particulièrement ces recueils, qui leur épargnent tant de recherches. Le livre III se termine par la description des appareils de jaugeage et l'exposé des règles suivies en Italie, dans les diverses localités, pour la mesure des eaux courantes et l'évaluation des concessions d'eau : on y retrouve complétés les renseignements publiés autrefois par M. Nadault de Buffon (2).

Le livre IV, qui remplit entièrement le second volume, a pour objet le mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite, et les distributions d'eau dans les villes. Il contient les anciennes théories de Prony et d'Eytelwein, les expériences plus récentes de Darcy, les recherches diverses sur la répartition des vitesses au sein d'une même section transversale, les formules de Poiseuille pour le mouvement de l'eau dans les tubes capillaires, celles de Hagen, de Weisbach, et enfin la théorie analytique que M. Maurice Lévy a fait connaître en 1867 dans les *Annales des ponts et chaussées*, et qui rectifie sur certains points les inductions de Darcy. Un résumé pratique coordonne les divers résultats exposés, et guide le lecteur dans ce labyrinthe de théories trop souvent contradictoires. M. Nazzani, qui fait usage de la méthode de Dupuit pour la transformation des conduites en d'autres équivalentes au point de vue du débit, passe en revue la plupart des problèmes qui se présentent

(1) Signalons aussi une longue note consacrée aux travaux du professeur Stasnislao Vecchi, sur la figure prise par des liquides de densités différentes superposés, quand on imprime à chacun des vitesses de rotation inégales autour d'un même axe vertical. Le point de départ de ce travail est une théorie de Van Beck sur la propriété attribuée à l'huile de calmer les flots de la mer. M. Vecchi et M. le professeur Marangoni ont conclu des phénomènes observés une mesure numérique des viscosités relatives des liquides.

(2) Irrigations de la haute Italie.

dans un projet de distribution d'eau. Un chapitre entier est consacré à la résistance des tuyaux aux pressions intérieures, question dans laquelle l'auteur prend M. Reuleaux pour guide. Il examine l'influence des coups de bélier sur la résistance des conduites, problème difficile, qui a fourni il n'y a pas longtemps à M. le général Menabrea le sujet d'une belle étude analytique.

Le reste du livre renferme la solution pratique du problème de la distribution des eaux dans les villes, depuis le choix à faire, au point de vue de l'économie, entre les diverses machines élévatoires et les tracés généraux des conduites maîtresses, jusqu'à la description des moindres appareils de fontainerie. Chaque détail est accompagné d'exemples empruntés à l'Europe ou à l'Amérique. L'auteur passe en revue les moyens de se procurer l'eau potable nécessaire à l'alimentation des villes ; il examine la question du filtrage, celle des puits artésiens, enfin il termine son second volume par la description de quelques distributions d'eau remarquables, parmi lesquelles nous trouvons, en Italie, celle de Rome dans l'antiquité et dans les temps modernes, celles de Pavie, de Gênes, de Parme, de Pise, de Naples, et, hors d'Italie, celles de Paris, de Versailles, de Londres et de Dublin.

Le compte sommaire que nous venons de rendre des deux premiers volumes nous paraît suffire pour donner une idée du soin avec lequel M. Nazzani a rassemblé tous les documents que peuvent éclairer la question de la conduite des eaux, question si importante dans l'art de l'ingénieur. Les deux derniers volumes traiteront du mouvement de l'eau dans les canaux découverts, et exposeront la théorie des fleuves : grand problème aussi, intéressant pour tous les États, et surtout pour l'Italie, qui est peut-être, de toutes les contrées de l'Europe, celle où les inondations sont à la fois les plus fréquentes et les plus terribles.

En attendant que nous puissions donner une analyse

de cette dernière partie de l'ouvrage, il n'est pas hors de propos, croyons-nous, de noter ici les efforts du gouvernement italien, secondé en cela par les provinces et les communes, pour répandre parmi les populations ouvrières une solide instruction professionnelle : l'hydraulique, comme toute autre branche de l'activité industrielle, est l'objet de ces préoccupations et de ces efforts. Le signal a été donné il y a sept ans, en 1869, dans un congrès du commerce et des arts utiles tenus à Gênes. C'est à cette réunion que revient l'honneur d'avoir formulé avec le plus de netteté le vœu du développement des écoles populaires; chose plus remarquable encore, ce vœu a été suivi d'effet. Les écoles populaires existent aujourd'hui en grand nombre dans toutes les parties de l'Italie. On y admet les ouvriers qui possèdent l'instruction primaire, c'est-à-dire la lecture, l'écriture, l'arithmétique, la géographie. Ces écoles ont une tendance bien marquée à se spécialiser complétement. Le but qu'on s'y propose n'est pas de donner à l'ouvrier une teinture encyclopédique de toutes les connaissances modernes, mais bien de le rendre apte à exercer avec plus d'habileté, plus d'intelligence, et par conséquent plus de cœur, le métier qu'il a choisi. Aussi les programmes varient-ils beaucoup d'une école à l'autre; mais tous à peu près contiennent le dessin. On trouve dans quelques-uns les éléments de la statique graphique, que les ouvriers s'assimilent sans peine, pourvu qu'elle leur soit présentée sans prétention scientifique exagérée.

Il serait tout à fait étranger à notre sujet de passer en revue les écoles d'arts et métiers, telles que celles de Biella (1) et de Chiavari (2), ou les écoles populaires de

(1) La première des écoles d'arts et métiers de l'Italie : elle a été fondée sur le modèle des écoles de filature d'Alsace.

(2) École destinée à former des ouvriers et des contre-maîtres pour les constructions navales, analogue aux écoles de maistrance des arsenaux français.

Fermo (1), de Fabriano (2), de Carrare (3), de Savone (4), de Foggia (5), de Schio (6), de Foligno (7), de Sesto Fiorentino (8), de Colle di Val d'Elsa (9), de Vigevano (10), de Burano (11). Mais dans le nombre, nous trouvons une école spécialement destinée à l'enseignement de l'hydraulique : elle existe à Palerme sous le nom d'*École des chefs fontainiers;* M. Nazzani en est le directeur.

La distribution d'eau de Palerme est déjà ancienne ; elle a été conçue dans le système, aujourd'hui abandonné, de distribution par rayonnement autour de châteaux d'eau isolés, où l'eau prend son niveau à l'air libre. C'est à des praticiens nommés fontainiers qu'on a depuis longtemps l'habitude de confier la plus grande partie des travaux de cette nature. L'ingénieur y intervient très-rarement, et seulement pour donner des indications générales. Les villes s'adressent de préférence aux fontainiers, et les campagnes en font autant. L'eau est, dans tout le Midi, et principalement en Sicile, l'agent indispensable de la végétation, l'auxiliaire obligatoire de toute culture. S'agit-il de faire jaillir les eaux d'un coteau, de creuser un puits, d'installer une noria ou d'irriguer un terrain, c'est aux fontainiers que le paysan s'adressera, plutôt qu'à un ingénieur qu'il ne connaît pas et qui lui impose davantage. L'habileté de ces fontainiers est d'ailleurs très-renommée

---

(1) Arts mécaniques, gravure.
(2) Agriculture et chimie industrielle.
(3) Extraction et travail du marbre.
(4) Arts mécaniques, ébénisterie.
(5) Forge et serrurerie, arts mécaniques.
(6) École d'arts et métiers pour les arts textiles et la teinturerie.
(7) École d'arts et métiers pour les constructions en bois, en métal et en maçonnerie.
(8) Dessin industriel, arts décoratifs, arts céramiques.
(9) Métallurgie, verrerie, teinturerie, fabrication du papier.
(10) Arts textiles et teinture de la soie.
(11) Dentelles.

dans le pays, et leur pratique fait plus que compenser, dans certains cas, l'insuffisance de leurs connaissances théoriques. Les fontainiers de Palerme rappellent l'abbé Paramelle : la connaissance des herbes, le sentiment de l'allure des couches géologiques, dans une contrée dont la géologie est particulièrement tourmentée, enfin l'instinct d'une foule de phénomènes qu'un savant de profession laisse passer inaperçus, leur assurent de fréquents succès, et leur donnent dans le pays un crédit peut-être supérieur à leur mérite réel. Nous ne pouvons mieux faire, pour qu'on en juge, que de renvoyer le lecteur à deux notes du second volume de l'*Hydraulique* de M. Nazzani, aux pages 298 et 351, où l'auteur rend hommage à l'habileté des fontainiers palermitains (1).

Telle était, depuis un temps immémorial, la position de la corporation des fontainiers en Sicile, lorsqu'en 1869 le gouvernement, sur l'avis du congrès des chambres de commerce, créa à Palerme une école de fontainiers, destinée à mettre l'instruction de ces agents si utiles au pays en rapport avec les progrès modernes. La ville de Palerme fournit le local à cette école; elle supporte en outre les dépenses de l'ameublement et du personnel de service, ainsi que les frais de chancellerie; l'enseignement est à la charge de l'État. C'est, jusqu'ici, la seule école d'hydrau-

---

(1) Nous possédons un recueil de deux tables fort bien disposées, destinées à faciliter le calcul du débit des tubes *hydrométriques*, qui rayonnent autour des châteaux d'eau et apportent l'eau au domicile des concessionnaires. Ces tables ont été dressées par un chef fontainier, M. *Nicolo Lauriano*, *Capo fontaniere communale governativo*.— La note de la page 351 contient une citation de M. le professeur Ferdinando Alfonso, dans laquelle l'habile agronome montre les fontainiers allant recueillir les eaux souterraines à la surface d'une couche imperméable, et les amenant au jour dans de petits aqueducs souterrains, dont l'un a jusqu'à 1.353 mètres de longueur. Ces travaux ont transformé la culture de tout le bassin palermitain.

lique pratique de toute l'Italie. On trouve cependant un noyau analogue de connaissances hydrauliques à l'autre bout du royaume, dans la Lombardie, où la pratique séculaire des irrigations et la défense des cultures contre les crues des rivières ont créé une sorte d'hydraulique traditionnelle.

L'enseignement de l'école de Palerme comprend l'arithmétique, des notions d'algèbre, réduites à la signification et au calcul des formules, des principes de géométrie, l'hydrostatique, les règles hydrauliques les plus usuelles, la description des organes de distribution d'eaux, l'étude des moteurs hydrauliques et des pompes, les calculs et la pratique des terrassements et du mouvement des terres, soit à ciel ouvert, soit en souterrain, la théorie des machines simples, les règles pour la construction des poutres chargées de poids, des murs ou des digues soutenant une charge d'eau ou de terre, le levé des plans et le nivellement. Les élèves étudient les différents genres de dessin, depuis le dessin linéaire jusqu'au dessin d'après nature. La durée des cours est de deux années. Les élèves ont généralement de quinze à vingt-cinq ans; ce sont presque tous des fils de fontainiers; ils entrent dans cette école spéciale quand, après avoir reçu l'enseignement primaire, ils ont en outre suivi pendant deux ans une école industrielle (1). En sortant, ils deviennent fontainiers comme leurs pères, et entrent dans la corporation où ils sont nés, ou bien ils trouvent facilement un emploi dans les travaux publics. Moyennant un nouvel examen, ils peuvent être admis à des cours plus élevés, qui leur ouvrent de plus brillantes carrières. Telle est l'organisation de cette école, dont tout le monde se montre satisfait. M. Nazzani nous a

(1) L'enseignement dans ces écoles comprend l'étude de la langue, le dessin, et des notions de mathématiques, de physique et de chimie.

affirmé n'avoir jamais rencontré la moindre difficulté à faire comprendre à ses élèves les doctrines de l'hydraulique, moyennant qu'elles leur soient présentées sous une forme simple et suffisamment pratique. Nous espérons que le lecteur nous saura gré d'avoir fait connaître cet établissement d'instruction, qui témoigne des efforts faits dans toutes les parties de l'Italie pour stimuler le progrès et élever le niveau intellectuel des populations. Les résultats déjà obtenus suffisent à provoquer de nouveaux efforts, et, l'impulsion donnée, le mouvement ne s'arrêtera plus.

Paris, 16 septembre 1876.

TABLES

DES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS

DURANT LE 2e SEMESTRE DE 1876.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION DES ARTICLES PAR ORDRE D'INSERTION.

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

D

E

F

M

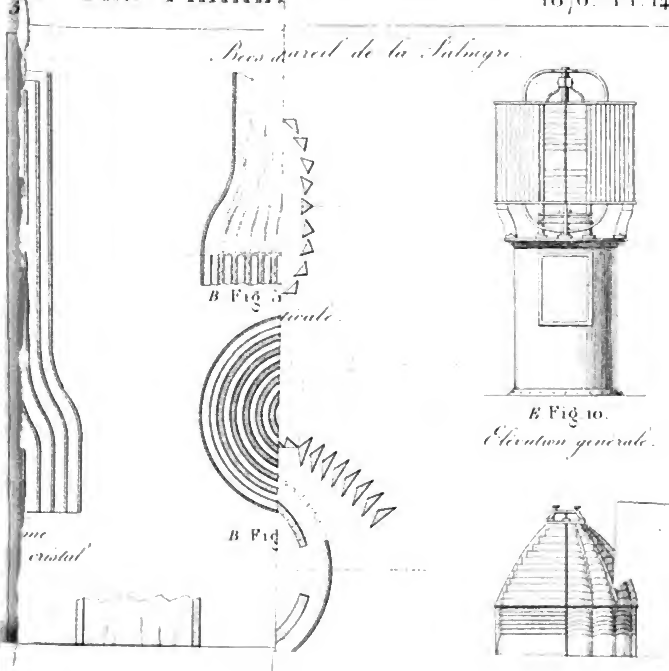
N

O

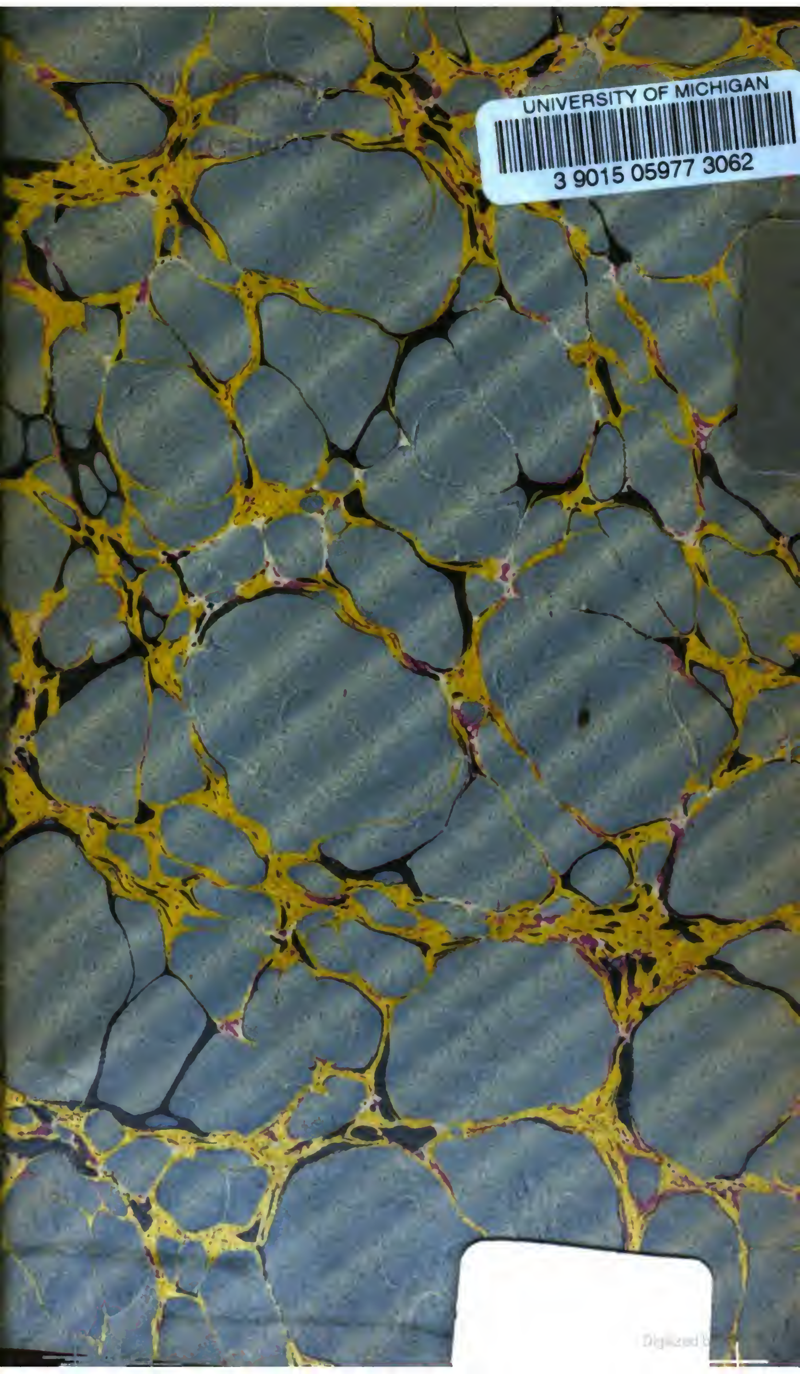
P

FIN DES TABLES DES MÉMOIRES DU 2e SEMESTRE DE 1876.

3803. — Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.


Bec à mèche de la Palmyre
B Fig. 5
B Fig
E Fig. 10.
Élévation générale.
cristal




UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 05977 3062

